

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra robototechniky**

**Konstrukce a realizace podvozku mobilního robotu  
pro monitoring**

**Mechanical Design and Realization of a Mobile Robot  
Undercarriage for Monitoring Tasks**

Student:

Bc. David Hanzlík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Hanzlík**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T013 Robotika  
Téma: **Konstrukce a realizace podvozku mobilního robotu pro monitoring**  
**Mechanical Design and Realization of a Mobile Robot Undercarriage for**  
**Monitoring Tasks**

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současných robotických systémů pro monitoring nebezpečné oblasti. Na základě této analýzy stanovte vhodné parametry monitorovacího robotického systému a definujte situace pro jeho nasazení.
2. Navrhněte varianty koncepčního řešení monitorovacího robotického systému a rozmístění jeho subsystémů.
3. Vybrané koncepční řešení rozpracujte do úrovně detailního 3D modelu a podkladů pro výrobu.
4. Práci doplňte podrobnou technickou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

KÁRNÍK, L.; KNOFLÍČEK, R.; MARCINČIN, J. *Mobilní roboty*. 1. vydání. Opava: Márfy Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.

SMRČEK, J.; KÁRNÍK, L.; BOBOVSKÝ, Z. *Robotika – Servisné roboty na pásovém podvozku. Navrhovanie, konštrukcia, riešenia*. 1. vydání. Košice: Edícia ved. a odb. literatúry SJF TU, 2010. 248 s.

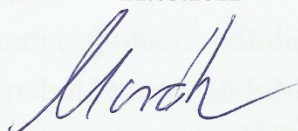
DRASTÍK, F. *Technické kreslení I. – pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. 2. vydání. Ostrava: Montanex Ostrava, 2005. 260 s. ISBN 87-7225-195-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

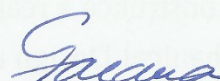
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kryš, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. Dr.Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 5. 2011

.....



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci, nebo poskytnou licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. 5. 2011

Jméno a příjmení autora práce:

.....  
**Bc. David Hanzlík**

Adresa trvalého pobytu autora práce:

**Strahovice 74, 747 30**

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HANZLÍK, D.      *Konstrukce a realizace podvozku mobilního robotu pro monitoring*, Ostrava: Katedra Robotechniky - 354, Fakulta strojní, VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, 90 s., Diplomová práce, vedoucí: Ing. Krys Václav, Ph.D.

Práce se zabývá návrhem a realizací podvozku mobilního robotu pro monitoring. V úvodu je provedena rešerše z oblasti mobilní robotiky pro využití v bezpečnostních složkách. Na základě analýzy byl stanoven požadavkový list a navrženo několik možných variant řešení, ze kterých dle hodnotové analýzy vypracované třemi experty vzešla optimální varianta. Tato varianta byla dále podrobně rozpracována a doplněna kompletní výkresovou dokumentací, 3D modelem, výpočty a pevnostními analýzami. Návrh byl poté konstrukčně zrealizován. Zpráva je doplněna o poznatky z montáže a jejím popisem.

## ANNOTATION OF THESIS

HANZLÍK, D.      *Mechanical Design and Realization of A Mobile Robot Undercarriage for Monitoring Tasks*, Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University of Ostrava, 2012, 90 s., Master thesis, Head: Ing. Krys Václav, Ph.D.

This thesis deals with the design and realization of a mobile robot undercarriage for monitoring tasks. The introduction contains a search for mobile platforms used in public security forces. Based on this analysis, a request list was obtained and several possible versions investigated. The optimal version was chosen by value analysis, based on three experts findings. This version was designed in detail. Necessary drawings, 3D model, calculations and structure analysis were also created. The prototype was manufactured. The technical report contains description of assembly process as well as findings made during this process.

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 ANALÝZA.....</b>	<b>11</b>
1.1 ROBOTY PRO MONITORING .....	12
1.1.1 Roboty společnosti Robotics Group .....	12
1.1.2 Roboty Wifibot .....	13
1.1.3 Robot TSU-6 .....	15
1.1.4 Roboty iRobot .....	16
1.1.5 Robot Recon Scout .....	17
1.2 ROBOTY OPERAČNÍ, PRO VYUŽITÍ V BEZPEČNOSTNÍCH SLOŽKÁCH .....	19
1.2.1 Roboty společnosti QinetiQ .....	19
1.2.2 Roboty iRobot .....	22
1.2.3 Roboty ROBHAZ.....	24
1.3 ZÁVĚR Z ANALÝZY SERVISNÍCH ROBOTŮ PRO BEZPEČNOSTNÍ SLOŽKY .....	25
1.4 ANALÝZA SVĚTLÝCH VÝŠEK VOZIDEL .....	25
<b>2 POŽADAVKOVÝ LIST .....</b>	<b>27</b>
2.1 POŽADAVKY NA PODVOZEK .....	27
2.2 POŽADAVKY NA KAMEROVÝ A SENZORICKÝ SUBSYSTÉM .....	27
2.3 POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ A STANOVISŤE OPERÁTORA .....	27
<b>3 VARIANTY ŘEŠENÍ PODVOZKU .....</b>	<b>28</b>
3.1 ŠESTIKOLOVÝ PODVOZEK .....	28
3.2 OSMIKOLOVÝ PODVOZEK .....	34
3.3 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ.....	38
<b>4 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY.....</b>	<b>41</b>
4.1 HODNOTY KRITÉRIÍ .....	41
4.2 VÝZNAMNOST KRITÉRIÍ .....	41
4.3 HODNOTÍCÍ KRITÉRIA .....	42
4.4 URČENÍ VÝZNAMNOSTI METODOU TROJÚHELNÍKU PÁRŮ .....	43
4.5 URČENÍ VÁHY VÝZNAMNOSTI .....	44
4.6 HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT .....	45
4.7 VYHODNOCENÍ A URČENÍ IDEÁLNÍ VARIANTY .....	47
<b>5 PODVOZEK MOBILNÍHO ROBOTU .....</b>	<b>48</b>
5.1 NÁVRH POHONU.....	48
5.2 VOLBA POHONU .....	53
5.2.1 Alternativy .....	53
5.2.2 Zvolená pohonná jednotka.....	54
5.3 NÁVRH ŘEMENOVÉHO PŘEVODU .....	57
4.1 NÁVRH RÁMU .....	62

5.4	NÁVRH KAMEROVÉHO SUBSYSTÉMU .....	64
5.4.1	<i>Přední kamera</i> .....	64
5.4.2	<i>Zadní kamera</i> .....	65
5.4.3	<i>Komponenty použité v návrzích</i> .....	66
5.5	VOLBA KOL .....	68
5.6	VOLBA PRVKŮ PŘENOSU SIGNÁLU K OPERÁTOROVI .....	68
5.7	VOLBA AKUMULÁTORŮ .....	70
5.7.1	<i>Akumulátor pro pohony</i> .....	70
5.7.2	<i>Akumulátor pro elektroniku</i> .....	71
<b>6</b>	<b>MONTÁŽ</b> .....	<b>73</b>
6.1	PŘÍPRAVA MONTÁŽE .....	73
6.2	ZHODNOCENÍ MONTÁŽE .....	74
<b>7</b>	<b>ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ PODVOZKU Z HLINÍKU</b> .....	<b>78</b>
<b>8</b>	<b>CENOVÁ KALKULACE</b> .....	<b>79</b>
8.1	KALKULACE DÍLŮ ELEKTRONIKY .....	79
8.2	POHONNÉ JEDNOTKY .....	79
8.3	VYRÁBĚNÉ DÍLY .....	80
8.4	MONTÁŽNÍ MATERIÁL .....	82
8.5	OSTATNÍ NAKUPOVANÉ KOMPONENTY .....	83
8.6	CELKOVÁ CENOVÁ KALKULACE .....	83
<b>9</b>	<b>VÝSTUPNÍ PARAMETRY NÁVRHU PODVOZKU</b> .....	<b>84</b>
<b>10</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>85</b>
<b>11</b>	<b>REFERENCE</b> .....	<b>87</b>
11.1	POUŽITÁ LITERATURA .....	87
11.2	INTERNETOVÉ ZDROJE .....	87
11.3	KATALOGY .....	88
<b>12</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>89</b>
12.1	DOKUMENTACE .....	89
12.2	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE .....	89
12.3	PŘILOŽENÝ DISK .....	90

## Seznam použitého značení

<b>Značka</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotky</b>
$a_{pmax}$	Maximální zrychlení robotu	$[m \cdot s^{-2}]$
C	Dynamická únosnost	[kN]
$C_n$	Faktor odpovídající tvaru a šířce náboje	[-]
$C_0$	Statická únosnost	[kN]
D	Vnější průměr svěrného pouzdra	[mm]
$D_M$	Průměr potřebného materiálu	[mm]
$d_2$	Střední průměr závitu	[mm]
$d_3$	Malý průměr závitu	[mm]
$d_{max}$	Maximální průměr hlavy šroubu	[mm]
$d_{min}$	Průměr díry pro šroub	[mm]
$d_s$	Střední průměr stykové plochy hlavy šroubu s materiálem	[mm]
$F_h$	Síla na hřídel pohonu	[N]
$F_K$	Hnací síla	[N]
$F_{max}$	Maximální síla	[N]
$F_0$	Osová přepěťová síla působící na jeden šroub	[N]
$F_{0C}$	Celková přepěťová síla	[N]
$F_T$	Třecí síla	[N]
$F_Z$	Síla v závitu	[N]
f	Koeficient tření	[-]
$f_H$	Koeficient tření mezi hlavou šroubu a materiálem	[-]
$f_k$	Součinitel valivého odporu	[-]
$f_z$	Součinitel smykového tření na závitu	[-]
G	Celková tíha servisního robotu	[N]
g	Gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
K	Koeficient závislý na mezi pružnosti	[-]
k	Koeficient bezpečnosti	[-]
$k_s$	Bezpečnost k mezi kluzu	[-]
$M_K$	Potřebný krouticí moment	$[N \cdot m]$
$M_{TH}$	Třecí moment pod hlavou šroubu	$[N \cdot mm]$
$M_{TZ}$	Třecí moment v závitu	$[N \cdot mm]$
$M_U$	Utahovací moment	$[N \cdot m]$

<b>Značka</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotky</b>
$m$	Hmotnost	[kg]
$n$	Přípustné otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$n_K$	Potřebné otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
$O_v$	Vzdušný odpor	[-]
$O_f$	Valivý odpor	[-]
$O_s$	Odpor stoupání	[-]
$O_z$	Odpor zrychlení	[-]
$P_K$	Potřebný výkon	[W]
$p_n$	Měrný tlak na náboj	[N · mm <sup>2</sup> ]
$p_R$	Rozteč	[mm]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$r_K$	Poloměr kola	[m]
TP	Jakostní skupina	[-]
$v_{\max}$	Maximální rychlost robotu	[m · s <sup>-1</sup> ]
$W_k$	Modul průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$z$	Počet šroubů	[ks]
$\alpha$	Úhel profilu závitu	[°]
$\alpha_k$	Úhel nakloněné roviny	[°]
$\beta$	Součinitel neznámého krutu	[-]
$\varphi'$	Redukovaný třecí úhel	[°]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\sigma$	Mez průtažnosti	[N · mm <sup>2</sup> ]
$\sigma_{Dt}$	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_{RED}$	Redukované napětí	[MPa]
$\sigma_t$	Napětí v tahu	[MPa]
$\vartheta$	Součinitel vlivu rotačních částí	[-]
$\tau_K$	Napětí v krutu	[MPa]
$\psi$	Úhel stoupání závitu	[°]



## Úvod

Mobilní roboty hrají v současnosti důležitou roli v různých oblastech použití. Obecně lze mobilní robotické systémy rozdělit na roboty pro profesionální nebo osobní využití. Podle průzkumu se ve světě nejvíce používá robotů pro vysávání, mytí podlahy, čištění bazénů, sekání trávy (nejen na menších prostorech u domu, ale i na větších plochách, např. golfových hřištích) a také robotů pro rychlou obsluhu což náleží skupině robotů pro osobní využití. Vláda v Jižní Koreji schválila program, kdy od roku 2013 připadne každé jihokorejské domácnosti jeden servisní robot. Další kategorií jsou již zmiňované roboty pro profesionální využití. Příkladem může být použití v kosmu, pod vodou, nebo v životu nebezpečných oblastech. Dále pak roboty pro sledování a střežení objektů, roboty použité k armádním operacím apod. Moderní servisní roboty tedy vykonávají servisní činnosti pro člověka nebezpečné, či obtížně realizovatelné. Dalším použitím může být přeprava zboží v nákupních centrech, v nemocnicích či veřejných budovách, čištění potrubí, fasád, kanálů, střech, ochrana osob nebo majetku, odstraňování min apod.

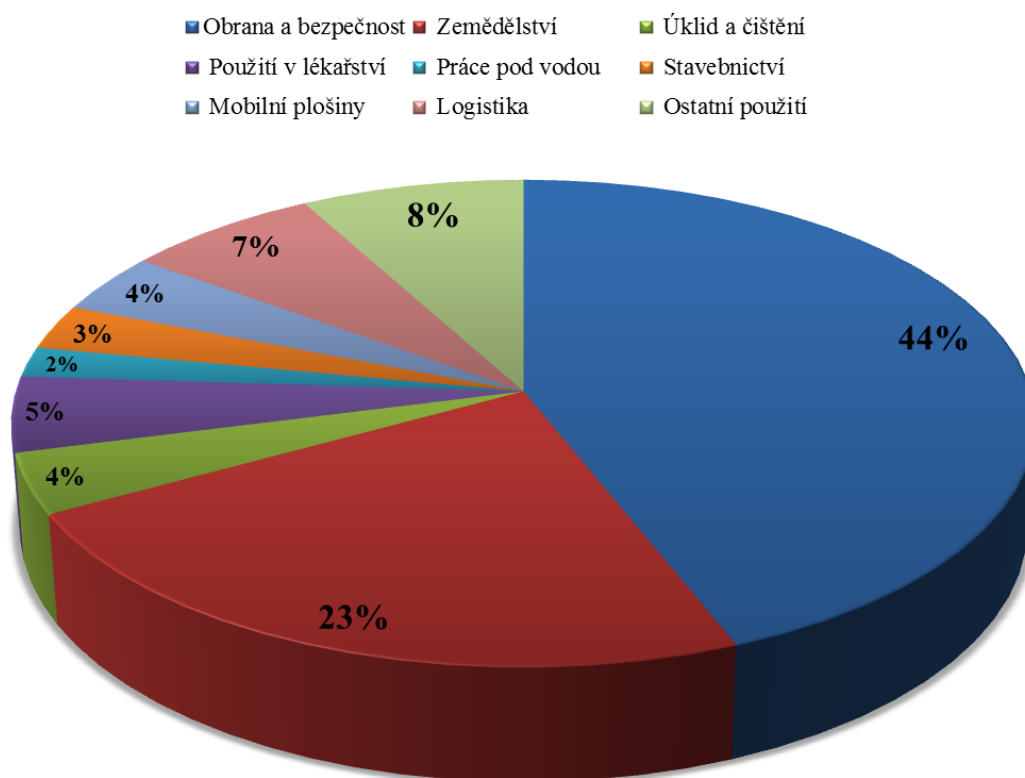
Práce se zaměřuje na realizaci mobilního robotu, který má za úkol monitorovat a předat zprávu operátorovi o stavu podvozku zaparkovaného silničního vozidla. Stavem podvozku se v této situaci rozumí, zdali na něm není upevněn výbušný systém.

## 1 Analýza

Mobilní roboty pro bezpečnostní složky mohou plnit funkci monitorovací nebo operační, což znamená, že se aktivně podílí na odstranění závad, či jiných, ve většině případů životu nebezpečných, problémů. Jelikož je výroba mobilních robotů nákladná, není v dnešní době výjimkou použití univerzálního interface pro upevnění a volnou výměnu různých typů operačních nadstaveb. Graf zobrazuje využití robotů pro profesionální použití s odhadem pro rok 2012. Roboty pro ochranu a bezpečnost, do kterých spadá i navrhovaný robot, se řadí mezi nejpočetnější skupinu. [5]

Cílem této práce je vytvoření monitorovacího robotu s možností přidání menšího ramene pro případné manipulační operace.

**Odhad stavu servisních robotů pro profesionální použití k roku 2012**



*Obr. 1 - Odhad stavu servisních robotů pro profesionální použití k roku 2012*

Následující část rešerše se zabývá analýzou současných trendů servisních robotů pro monitoring a robotů pro manipulaci s nebezpečnými látkami. Dále je uvedena analýza světých výšek podvozků vozidel, ze které se stanovil požadavek na maximální výšku robotu.

## 1.1 Roboty pro monitoring

Určujícím faktorem pro skladbu lokomočního ústrojí robotů nejen pro monitoring je prostředí, ve kterém se bude pohybovat. U robotů monitorovacích je snahou vyrobení kompaktní konstrukce s nízkou hmotností, kvalitním přenosem pořízených dat a vysokou dobou provozní schopnosti.

### 1.1.1 Roboty společnosti Robotics Group

#### Robot RGI-RTR6x6-Z

Tento robot řízený smykem je použitelný pro vnitřní i venkovní prostředí. Je poháněn dvěma motory s vysoce výkonnými převodovkami. Rozvod pro pohon všech šesti kol je zajištěn řemenovým převodem. Robot je dále opatřen kamerovým subsystémem, který je možno natáčet a naklápět. Přenos dat a řízení robotu je realizováno bezdrátově. Robot také disponuje funkcí „Advanced Power Management“ (řízení spotřeby), která má za úkol prodloužit dobu provozní schopnosti.

**Základní parametry robotu**

Rozměry rámu (dxšxv)	330x355x127 mm
Hmotnost	5 kg
Napětí akumulátoru	11,1 V
Kapacita akumulátoru	10 Ah
Natáčení kamery	$\pm 85^\circ$
Naklápění kamery (od vodorovné osy)	$\pm 150^\circ$
Maximální otáčky	600 rpm



Tab. 1 - Parametry robotu RGI-RTR6x6-Z

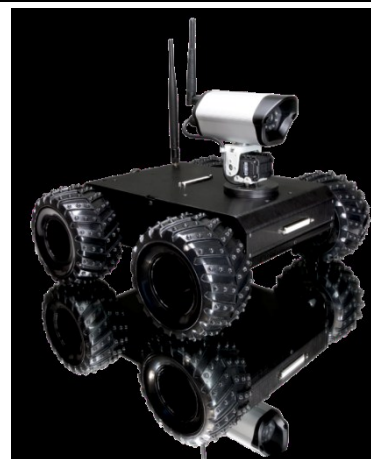
Obr. 2 - Robot RGI-RTR6x6-Z

#### Robot RGi-RTR4x4-N

Robot je opět řízený smykem a je speciálně zkonstruován pro dlouhé vzdálenosti. Může se pohybovat jak ve vnitřním, tak ve venkovním prostředí. Pohon zajišťují 4 pohony s výkonnými převodovkami. Robot se vyznačuje nízkou hmotností, tichým chodem, vysokou dobou provozní schopnosti a kamerou pro noční vidění, která je odolná vůči povětrnostním vlivům. V kameře jsou použity IR LED diody s extra vysokým jasnem, což zajišťuje dosah 12 metrů při použití ve tmě. Robot rovněž disponuje funkcí „Advanced Power Management“.

**Základní parametry robotu**

Rozměry rámu (dxšxv)	305x200x76 mm
Hmotnost	5 kg
Napětí akumulátoru	11,1 V
Kapacita akumulátoru	10 Ah
Natáčení kamery	$\pm 85^\circ$
Naklápění kamery (od vodorovné osy)	0 až $-60^\circ$
Maximální otáčky	235 rpm



Tab. 2 - Parametry robotu RGi-RTR4x4-N

Obr. 3 - Robot RGi-RTR4x4-N

Další roboty této společnosti jsou pouze modifikací stávajících konstrukcí. Liší se pouze použitím jiných kamer a barvou.



Obr. 4 - Zleva: RGi-RTR6x6-W, RGi-RTR6x6-N, RGi-RTR4x4-W

[6]

### 1.1.2 Roboty Wifibot

#### Wifibot U - TROOPER

Vyznačuje se vysokou flexibilitou a univerzálností použití, zejména díky malé hmotnosti a rozměrům. V důsledku speciální kloubové konstrukce se může pohybovat po členitém terénu a překonávat překážky o výšce až 180 mm. Je řízen smykem a pohon zajišťují motory na všech šesti kolech. Robot je vybaven průmyslovým PC, wi-fi, IP kamerou, GPS a je možné ho dovybavit dalšími potřebnými senzory pro aktuální aplikaci.

**Základní parametry robotu**

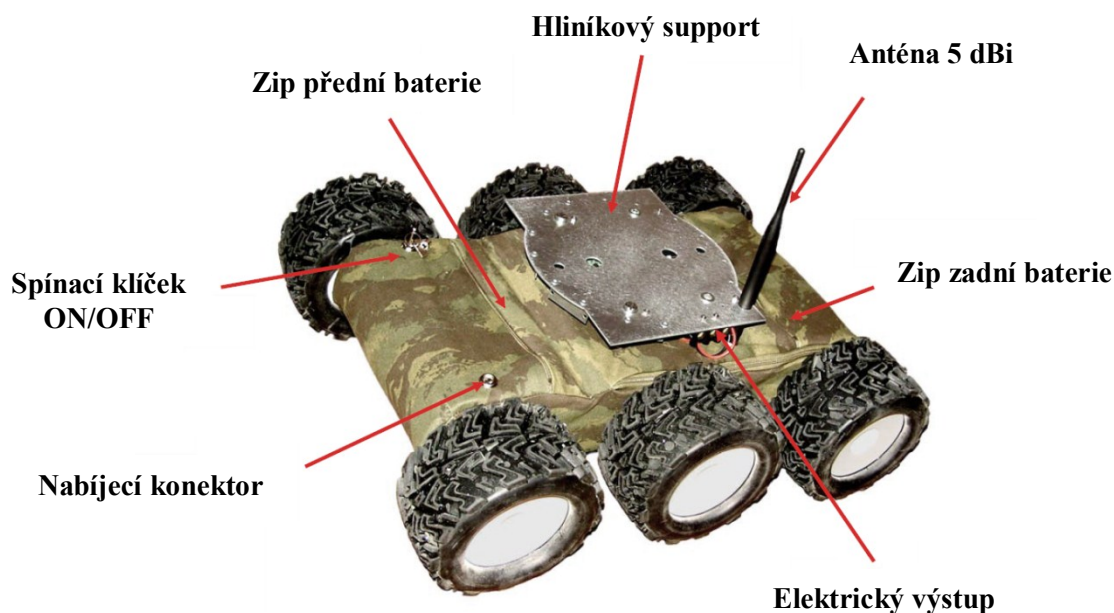
Rozměry (dxšxv)	513x405x154 mm
Hmotnost	6 kg
Napětí akumulátoru	12 V
Kapacita akumulátoru	10 Ah
Doba provozu	2 hodiny
Krouticí moment	1,6 Nm
Maximální otáčky	152 rpm



Tab. 3 - Parametry robotu RGi-RTR4x4-N

Obr. 5 - Robot U-trooper

Hliníkový support umožňuje uchycení různých typů kamer, případně jiných manipulačních nadstaveb. Krytování robotu je netradičně zajištěno nepromokavou tkaninou.



Obr. 6 - Schéma robotu U-trooper

**Wifibot Lab V3**

Tento mobilní robot společnosti Wifibot je převážně určen pro simulace a výuku robotiky. Robot je opět řízen smykem za použití čtyř motorů s planetovými převodovkami. Je vybaven



Obr. 7 - Robot Lab V3



průmyslovým PC, web kamerou a dalšími potřebnými komponenty pro jeho chod. Průmyslové PC má dostatek portů pro vybavení robotu dalšími senzory, např. laserový scanner, sonar nebo IR senzory.

**Základní parametry robotu**

Rozměry (dxšxv)	300x350x150 mm
Hmotnost	3,5 kg
Napětí akumulátoru	12,8 V
Kapacita akumulátoru	10 Ah
Krouticí moment	0,9 Nm
Maximální otáčky	156 rpm

*Tab. 4 - Parametry robotu RGi-RTR4x4-N*

### Wifibot 4G

Tento robot se vzhledem ke své konstrukci a pohonu všech čtyř kol vyznačuje vysokou pružností a flexibilitou použití. Dokáže zdola nepravidelné povrchy a malé překážky. Vzhledem ke svým rozměrům a hmotnosti je vhodný pro zkoumání úzkých prostorů. Robot dále nabízí velkou možnost rozšíření na různých úrovních.

**Základní parametry robotu**

Rozměry (dxšxv)	280x300x200 mm
Hmotnost	4,5 kg
Napětí akumulátoru	9,6 V
Kapacita akumulátoru	9,5 Ah
Doba provozu	2 hodiny
Krouticí moment	0,9 Nm
Maximální otáčky	156 rpm



*Tab. 5 - Parametry robotu 4G*

*Obr. 8 - Robot 4G*

[7]

### 1.1.3 Robot TSU-6

Tento robot společnosti EMT Robotics je určen ke spolehlivému sledování objektů a průzkumným misím. Šest výkonných motorů s planetovými převodovkami pohání kola o průměru 215 mm, při překonání



*Obr. 9 - Robot TSU-6*



překážek (schodů, obrubníků apod.) o stejné velikosti. Kamera s vysokým rozlišením je umístěna v přední části podvozku. Na stávající konstrukci je možné integrovat pás, který zajišťuje snadnější pohyb do schodů a v horším terénu. Rozměry robotu jsou 750x460x215 mm (dxšxv). Podrobnější informace týkající se výkonů pohonů, baterií a vnitřních komponentů výrobce neuvádí. Společnost se zabývá vývojem monitorovacích a taktických robotů pro policii a zásahové jednotky.

[8]

#### 1.1.4 Roboty iRobot

##### Robot 210 Negotiator

Robot slouží pro vyhodnocení nebezpečných situací. Zkoumá nebezpečné balíčky, vozidla nebo budovy. Jeho použití je velmi různorodé. Hojně je využíván pyrotechniky, zásahovými jednotkami nebo záchranáři. Cílem je podat operátorovi, který situaci sleduje z bezpečné vzdálenosti, informace o nebezpečném stavu. Robot je možné rozšířit o více příslušenství. Jeho konstrukce, zejména díky pásovému lokomočnímu systému, umožňuje snadné stoupání do schodů a překonávání překážek. Robot je vzhledem ke svým rozměrům a hmotnosti velmi flexibilní.



Obr. 10 - Robot 210 Negotiator

##### Základní parametry robotu

Délka	635 mm
Šířka s přídatnými pásy	406 mm
Šířka bez přídatných pásů	533 mm
Výška	193 mm
Hmotnost	15,4 kg
Dosah (při přímé viditelnosti)	244 m
Maximální rychlost	5 km/h

Tab. 6 - Parametry robotu 210 Negotiator



Obr. 11 - Robot 210 Negotiator

Na obrázku 10 je použita kamera s vysokým rozlišením a přísvitkem. Může se naklápět o 90° a otáčet o 360°. Dle požadavku na aplikace lze použít i jiných kamer.

### Robot 110 Firstlook

Cílem aplikace robotu je získání informací o celé řadě situací v různých prostředích. Použití je velmi pružné jak v indoor, tak v outdoor prostředích. Může sledovat budovy, haly, tunely, stoky, kanály a další těžko přístupná místa. Robot zvládne s operátorem komunikovat více než šest hodin a při stacionárním nahrávání videa i deset hodin. Vyznačuje se, vzhledem ke svým rozměrům, neuvěřitelnou robustností a odolností. Je schopný odolat pádu na beton z výšky čtyř a půl metru a udržet vodotěsnost v hloubce tří



Obr. 12 - Robot 210 Firstlook

metrů. S robotem lze překonávat různé překážky do výšky 80 mm. Při překlopení se o vrácení do původní polohy starají boční elementy. Robot je vybaven čtyřmi kamerami s přisvícením. Jsou umístěny vpředu, vzadu a na obou bocích.

**Základní parametry robotu**

Délka	250 mm
Šířka	230 mm
Výška	100 mm
Hmotnost	2,5 kg
Doba provozu	6 hodin (stacionárně až 10 hodin)
Maximální rychlost	6,4 km/h

Tab. 7 - Parametry robotu 210 Firstlook

[9]

#### 1.1.5 Robot Recon Scout

Tento průzkumný robot výhradně používají zásahové jednotky. Je robustní, nenápadný a spolehlivý. Je možné ho prohodit oknem, hodit přes zeď nebo ze schodů a vždy bude v pozici pro okamžité použití. Poskytuje video v reálném čase, které informuje jednotku o aktuálním stavu a umožňuje jim jednat rychle, bezpečně a rozvážně. Cílem je



Obr. 13 - Robot Recon Scout s XT koly

tedy zamezení lidským ztrátám při nebezpečných operacích. Lze také použít speciální XT kola (Obr. 13), které jsou schopny překonávat náročný terén. Na jedno operační stanoviště je možné připojit tři roboty. Přes stěny, dveře, okna, sutiny a další překážky dokáže přenést signál do třiceti metrů. Na otevřeném prostranství pak 90 metrů, což je dostačující pro sledování objektu z bezpečné vzdálenosti. Robot je vybaven kamerou s infračerveným optickým

systémem, který se ve tmě automaticky aktivuje. Pohybuje se velmi tiše s maximálně dvaceti decibely (pro srovnání: lidský šepot dosahuje třiceti decibelů).

**Základní parametry robotu**

Délka	250 mm
Šířka	230 mm
Výška	100 mm
Hmotnost	450 g
Dosah v Indoor prostředí	30 m
Dosah v Outdoor prostředí	90 m
Doba provozu	1 hodina (na rovném terénu)
Maximální rychlost	1 km/h

Tab. 8 - Parametry robotu Recon Scout



Obr. 14 - Robot Recon Scout

[10]

## 1.2 Roboty operační, pro využití v bezpečnostních složkách

Obecně plní dvě funkce. Monitorovací a zároveň nesou rameno pro manipulaci s nebezpečnými látkami. V převážném množství případů se používají pásové (případně hybridní) lokomoční ústrojí. Hlavní výhodou je možnost pohybu po schodech, překonávání větších překážek a zdolávání složitějších terénů. Těchto robotů je celá řada a vývojem se zabývá nesčetné množství společností. Pod textem jsou uvedeny jejich příklady.

### 1.2.1 Roboty společnosti QinetiQ

#### Robot Dragon Runner 10 (DR-10)

Cílem tohoto robotu je získání situačního přehledu daného problému a jeho případné vyřešení. Robot je malý, robustní a odolný nepříznivým povětrnostním podmínkám.



Obr. 15 - Robot Dragon Runner 10 s manipulační nadstavbou

Robot je také možné použít pouze pro průzkumné operace (Obr. 16). Je vybaven přední a zpětnou kamerou s vysokým rozlišením a nočním viděním.

**Základní parametry robotu**

Rozměry (d $\times$ š $\times$ v)	400x350x150 mm
Hmotnost	5 kg
Dosah	650 m (na volném prostoru)
Doba provozu	2 - 3 hodiny
Maximální rychlost	4,4 km/h
Krytí	IP 65

Tab. 9 - Parametry robotu DR-10



Obr. 16 - Robot DR-10 bez nadstavby



### Robot Dragon Runner 20 (DR-20)

Je modifikací výše zmiňovaného DR-10. Použití nachází ve stísněných prostorech, městských prostředích (budovy, kanalizace apod.) a pro různorodé vojenské aplikace. Stejně jako DR-10 je velmi robustní, odolný a vybaven kamerovým systémem s nočním viděním. Tento robot je možné oproti DR-10 rozšířit o více druhů nadstaveb. Nosnost se pohybuje od dvou do čtyř a půl kilogramů dle použitého manipulačního ramene.

**Základní parametry robotu**

Délky	420 mm
Šířka	300 mm
výška	150 mm
Hmotnost	9 kg
Nosnost	2 - 4,5 kg
Maximální rychlost	6,2 km/h
Doba provozu	2 hodiny
Krytí	IP 65



Tab. 10 - Parametry robotu DR-20

Obr. 17 - Robot DR-20

### Robot Talon

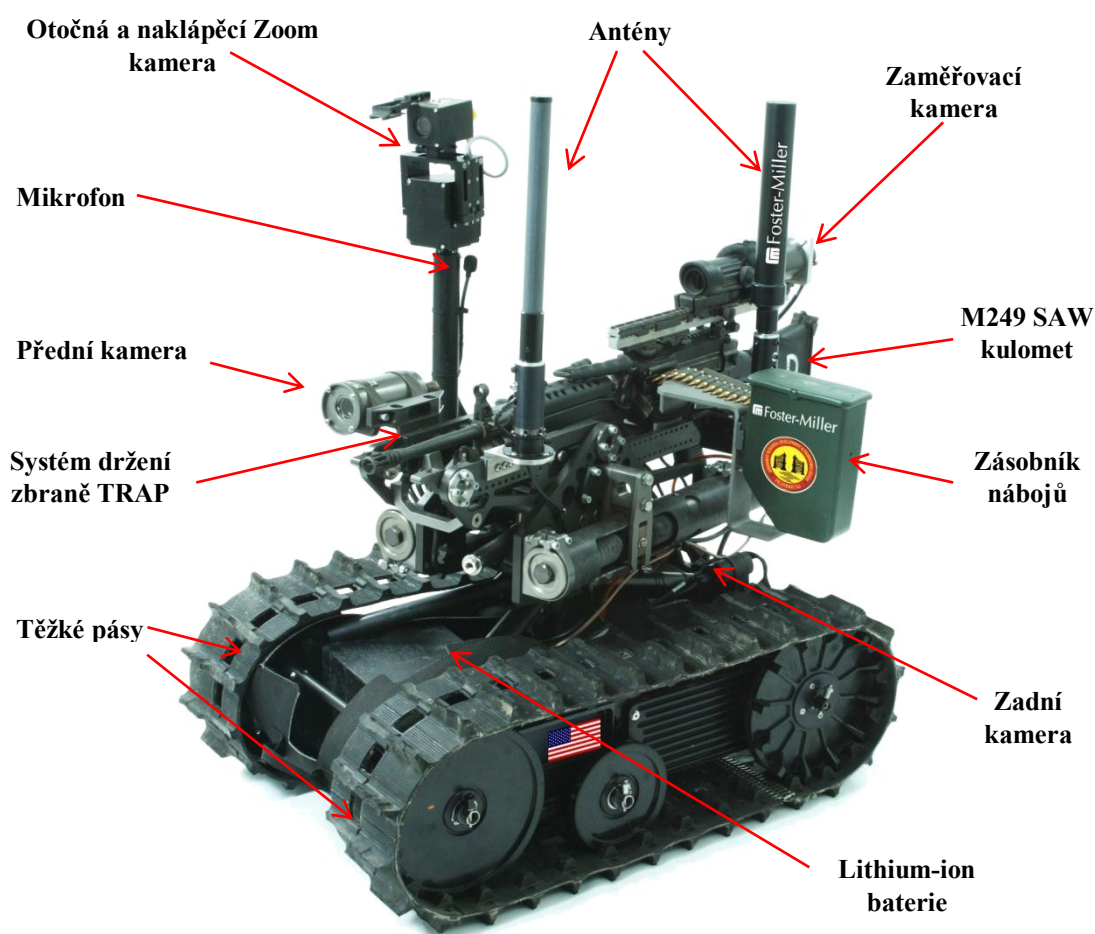
Vyznačuje se rychlostí, mobilitou a svou specializací je špičkou ve své třídě. Prochází inovací po dobu deseti let. Použití nachází ve všech bezpečnostních složkách (SWAT, US-Army, policie atd.). Konkrétně pro průzkum, odstraňování výbušných zařízení, použití při chemických, jaderných, biologických, radiačních nebo explosivních situacích, zajištění bezpečnosti, obranné a záchranné mise apod. Vyvíjí se v různých velikostech a s různými funkcemi. Robot byl úspěšně použit v Iráku nebo při záchranných operacích při útoku na Světové obchodní centrum v New Yorku. Bez problémů se pohybuje po schodech, sněhu a v těžších terénech.



Obr. 18 - Robot Talon

<b>Talon Military</b>	Standartní verze robotu pro vojenské použití
<b>Talon CBRNE</b>	Konfigurace pro detekci a manipulaci s nebezpečnými látkami v chemických, jaderných, biologických, radiačních nebo explosivních prostředích
<b>Talon w/GEN IV Heavy Lift</b>	Je vybaven těžším a delším ramenem než standartní Talon
<b>Talon Responder</b>	Je navržen pro městské a veřejné bezpečnostní aplikace
<b>Talon SWAT</b>	Je vybaven speciálními nadstavbami pro použití speciálních jednotek SWAT

Tab. 11 - Typy robotů Talon dle použití



Obr. 19 - Robot Talon s použitím subsystémů ve verzi Military

## Základní parametry robotu

Rozměry (dxšxv)	800x570x280 mm (s uloženým ramenem)
Hmotnost	52 - 64 kg (dle použité nadstavby)
Maximální zatížení ramene	9 - 30 kg (dle použitého ramene)
Maximální dosah robotu	150 - 215 mm (dle použitého ramene)

Tab. 12 - Parametry robotu Talon



### 1.2.2 Roboty iRobot

#### Robot 510 Packbot

Největší uplatnění nachází u pyrotechniků. Používá se k identifikaci výbušných zařízení, detekci nebezpečných materiálů, odstraňování výbušnin, průzkum vozidel, budov, bunkrů, jeskyní, tunelů, kanalizací apod. Je robustní a bez problémů zdolává schody a různé překážky. Podvozek je vybaven univerzálním interfejsem pro aplikaci různých manipulačních a senzorových nadstaveb (rychle vyměnitelných) pro aktuální aplikaci. Je uvedeno, že k roku 2012 bylo dodáno více než 3 500 těchto robotů pro vojenskou a civilní obranu po celém světě.



Obr. 20 - Robot 510 Packbot v akci

#### Základní parametry robotu

Délka s nataženými pomocnými pásy	686 mm
Délka se zasunutými pomocnými pásy	889 mm
Šířka s pomocnými pásy	521 mm
Šířka bez pomocných pásů	406 mm
Výška bez nadstaveb	178 mm
Hmotnost bez baterií a nadstaveb	10,9 kg
Hmotnost vybaveného robotu	do 30 kg (dle použitých zařízení)
Maximální rychlost	9,3 km/h
Doba provozu	4 hodiny

#### Příklad parametrů manipulátoru 510 3-Link Arm

Nosnost manipulátoru při maximálním vytažení	4,54 kg
Nosnost sklopeného manipulátoru	13,61 kg
Hmotnost	9,32 kg
Počet stupňů volnosti	8
Dosah	1870 mm

Tab. 13 - Parametry robotu 510 Packbot a manipulátoru 510 3-Link Arm

### Robot 310 SUGV

Tento robot na univerzálním podvozku je možné vybavit širokou škálou různých senzorů a manipulačními rameny. Je menší a odlehčenější verzí oproti typu 510 Packbot.

Je použitelný pěchotou, zásahovými jednotkami, záchranáři apod. pro monitorování a případné manipulační operace v těžko přístupných terénech a budovách. Bez problému zdolává různé překážky včetně schodů a díky své robustnosti odolává povětrnostním



Obr. 21 - Robot 310 SUGV

vlivům. Robot je rovněž vybaven všemi potřebnými senzory a kamerovým subsystémem nutných k realizaci žádaných aplikací.

**Základní parametry robotu**

Délka s nataženými pomocnými pásy	761 mm
Délka se zasunutými pomocnými pásy	708 mm
Šířka s pomocnými pásy	437 mm
Šířka bez pomocných pásů	348 mm
Výška se sklopeným manipulátorem	229 mm
Výška s maximálně roztáhlým manipulátorem	897 mm
Hmotnost	13,2 kg
Nosnost manipulátoru při maximálním vytažení	3,2 kg
Nosnost sklopeného manipulátoru	6,8 kg
Maximální rychlost	10 km/h
Zdolání vertikální překážky	305 mm
Doba provozu	6 hodin při použití dvou akumulátorů

Tab. 14 - Parametry robotu 310 SUGV

[9]

### 1.2.3 Roboty ROBHAZ

Vývojem těchto robotů se zabývá korejská společnost Robhaz. Převážné uplatnění nachází ve vojenských a civilních bezpečnostních složkách.

#### Robot DT5

Vyznačuje se malými rozměry a nízkou hmotností vzhledem k výkonu systému. Robot se poměrně rychle a bez problémů pohybuje do schodů a na nerovných terénech, kde je jeho největší uplatnění. Převážně se používá k vojenským účelům, jako je průzkum a získávání informací z nebezpečné oblasti. Robot disponuje možností přidání manipulační nadstavby.

**Základní parametry robotu**

Délky	470 mm
Šířka	275 mm
výška	550 mm
Hmotnost	25 kg
Maximální rychlost	3 km/h
Dobrá provozu	1 hodiny
Dosah	500 m



Tab. 15 - Parametry robotu DT5

Obr. 22 - Robot DT5

#### Robot DT3

Robot se vyznačuje obdobnými jízdními vlastnostmi jako typ DT5. Liší se však rozměrovými a hmotnostními parametry. Další výhodou je možnost použití širší škály různých manipulačních a operačních nadstaveb. Příkladem může být vodní dělo, robotický manipulátor, přístroje pro detekci min, systémy nočního vidění apod.

**Základní parametry robotu**

Délky	750 mm
Šířka	470 mm
výška	330 mm
Hmotnost	39 kg
Nosnost	60 kg
Maximální rychlost	10 km/h
Dosah	500 m



Tab. 16 - Parametry robotu DT3

Obr. 23 - Robot DT3

### 1.3 Závěr z analýzy servisních robotů pro bezpečnostní složky

V první části analýzy je popsáno několik typů různých konstrukcí robotů pouze pro monitoring. Jedná se o kompaktní a tuhé konstrukce, které mají za úkol prozkoumat a podat zprávu operátorovi o nebezpečné situaci. Poté následuje řešení dané situace za předpokladu maximální bezpečnosti osob a minimalizace lidských ztrát při akci. Pro použití ve venkovních prostředích se s výhodou používá robotů s kolovým podvozkem a pro vnitřní prostory tomu jsou podvozky pásové.

Z analýzy operačních mobilních robotů pro použití v bezpečnostních složkách je zřejmé, že drtivá většina konstrukcí je postavena na pásovém lokomočním ústrojí. Hlavním důvodem jsou manévrovací schopnosti robotu ve složitých a členitých terénech, možnost bezproblémové jízdy do schodů nebo také zvýšení manipulační výšky robotu pomocí speciální konstrukce podvozku nebo přídatných pásů. Podvozky jsou ve většině případů univerzální a je možné vhodně kombinovat a měnit manipulační nadstavby.

V analýze je uvedena pouze malá část nevyčerpatelného množství robotů použitých v bezpečnostních složkách. Jejich vývojem se zabývají společnosti převážně z Ameriky.

Obecně lze tedy konstatovat, že hlavním cílem aplikací mobilních robotů v této kategorii použití je zajištění bezpečnosti osob a ochrana majetku.

### 1.4 Analýza světélých výšek vozidel

Podstatnou součástí analýzy bylo také zjištění světélých výšek vozidel. V tabulkách jsou uvedeny hodnoty zjištěné přímo od výrobců jednotlivých typů vozidel.

Vozidla typu SUV			
Typ	Světélá výška	Typ	Světélá výška
<b>Dacia Duster</b>	210	<b>Nissan X-Trail</b>	200
<b>Toyota RAV4</b>	180	<b>Toyota Land Cruiser</b>	215*
<b>Škoda Yeti</b>	180	<b>Mitsubishi Pajero</b>	225
<b>Suzuki SX4</b>	190	<b>Nissan Pathfinder</b>	230
<b>Volkswagen Tiguan</b>	195	<b>Hummer H2</b>	247
<b>Kia Sportage</b>	195	<b>Land Rover Defender</b>	304
<b>Hyundai Tucson</b>	195	<b>Hummer H1</b>	406
<b>Suzuki Grand Vitara</b>	200		

Tab. 17 - Hodnoty světélých výšek vozidel typu SUV

Osobní automobily			
Typ	Světlá výška	Typ	Světlá výška
Dacia Logan	155*	Honda Legend	135
Dacia Sandero	155	Honda Accord Tourer	135
Hyundai i20	150	Honda Civic Type R	125*
Hyundai i30	150	Honda Civic Type S	140
Hyundai ix20	156	Renaul Thalia	140
Hyundai Genesis Coupe	129	Renault Megane	140
Hyundai Elentra	150	Škoda Favorit	125*
Honda Civic	140	Škoda Felicia	125*
Honda Jazz	130	Škoda Fabia I	139
Honda City	135	Škoda Fabia II	135*
Honda CR-Z	135	Škoda Octavia I (II)	137
Honda CR-V	175	Ford Focus	140

Tab. 18 - Hodnoty světých výšek osobních vozidel

\* Při pohotovostní hmotnosti

Obecně lze tedy shrnout světlé výšky vozidel do následující tabulky (Tab. 19). Jelikož je požadavkem, aby mobilní robot nesl případnou manipulační nadstavbu s maximální hmotností (hmotnost ramene + jeho nosnost) pět kilogramů, byla zvolena maximální hmotnost robotu (včetně nosnosti) do třiceti kilogramů a maximální výška robotu do 130 mm, která odpovídá (dle Tab. 17 a Tab. 18) všem osobním automobilům a vozidlům typu SUV.

SVĚTLÉ VÝŠKY AUTOMOBILŮ	
Auta typu Offroad, SUV	Od 170 mm
Sedany, Combi, Hatchbecky	Od 125 mm
Sportovní vozy	95 mm (i méně)

Tab. 19 - Světlé výšky dle typu automobilu

## **2 Požadavkový list**

Požadavkový list se skládá ze tří částí, kdy jsou této práci věnovány body 2.1 a bod 2.2.

### **2.1 Požadavky na podvozek**

- a** Výška do 130 mm
- b** Šířka maximálně 800 mm
- c** Podvozek šesti a více kolový
- d** Řízení smykem - 2x pohon + řemenový rozvod
- e** Nosnost 5 kg
- f** Celková hmotnost do 30 kg
- g** Napájení 12 nebo 24 V
- h** Možnost rychlé výměny akumulátorů
- i** Výdrž akumulátorů - minimálně 1 hodina na jedno nabití
- j** Počítat do budoucna s případným interfejsem pro připojení dalších modulů

### **2.2 Požadavky na kamerový a senzorický subsystém**

- a** Maximálně robustní přenos obrazu a řídících dat
- b** Minimálně dvě kamery (přední naklápěcí s vysokým rozlišením a citlivostí a couvací kamera)
- c** Měření vzdálenosti označeného objektu - dálkoměr naklápěný spolu s hlavní kamerou
- d** Přísvit

### **2.3 Požadavky na řízení a stanoviště operátora**

- a** Přenosný kufr stanoviště operátora
- b** Přenos dat - obraz, ovládání na minimální vzdálenost 100 m



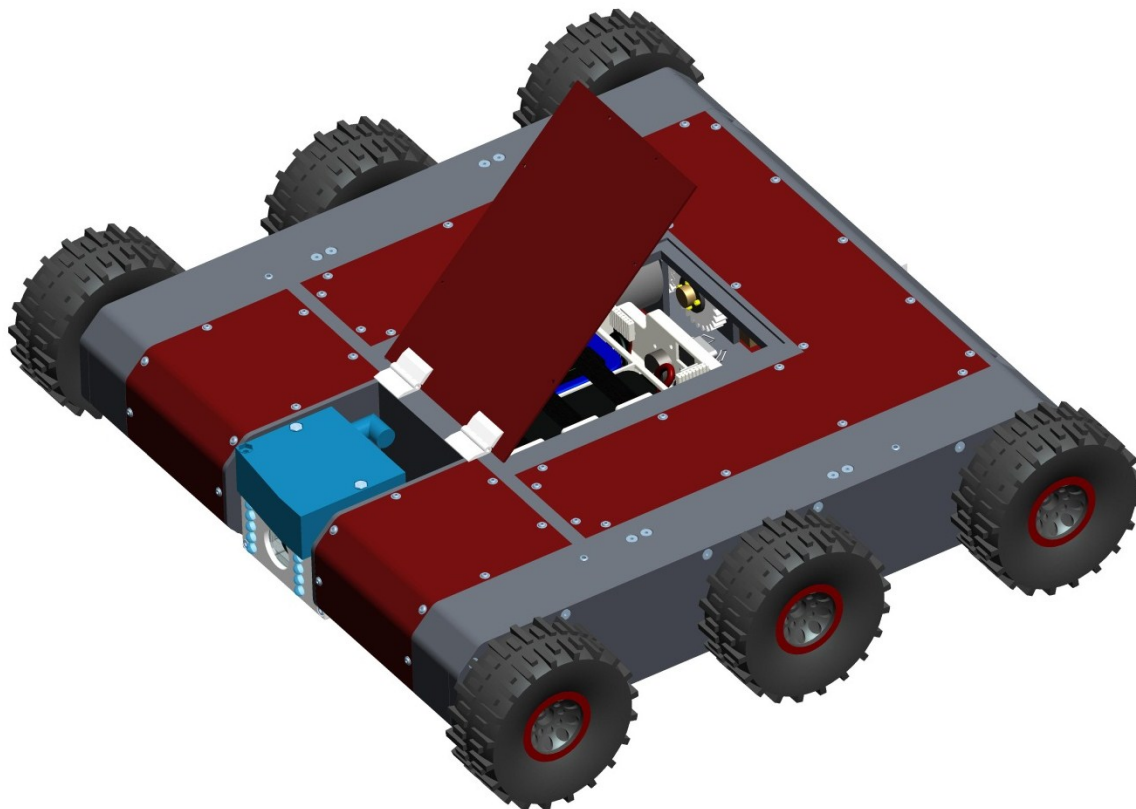
### 3 Varianty řešení podvozku

#### 3.1 Šestikolový podvozek

Při návrhu tohoto typu podvozku se naskytlo několik možností volby a umístění jednotlivých komponentů. Je prezentováno několik variant s krátkým popisem.

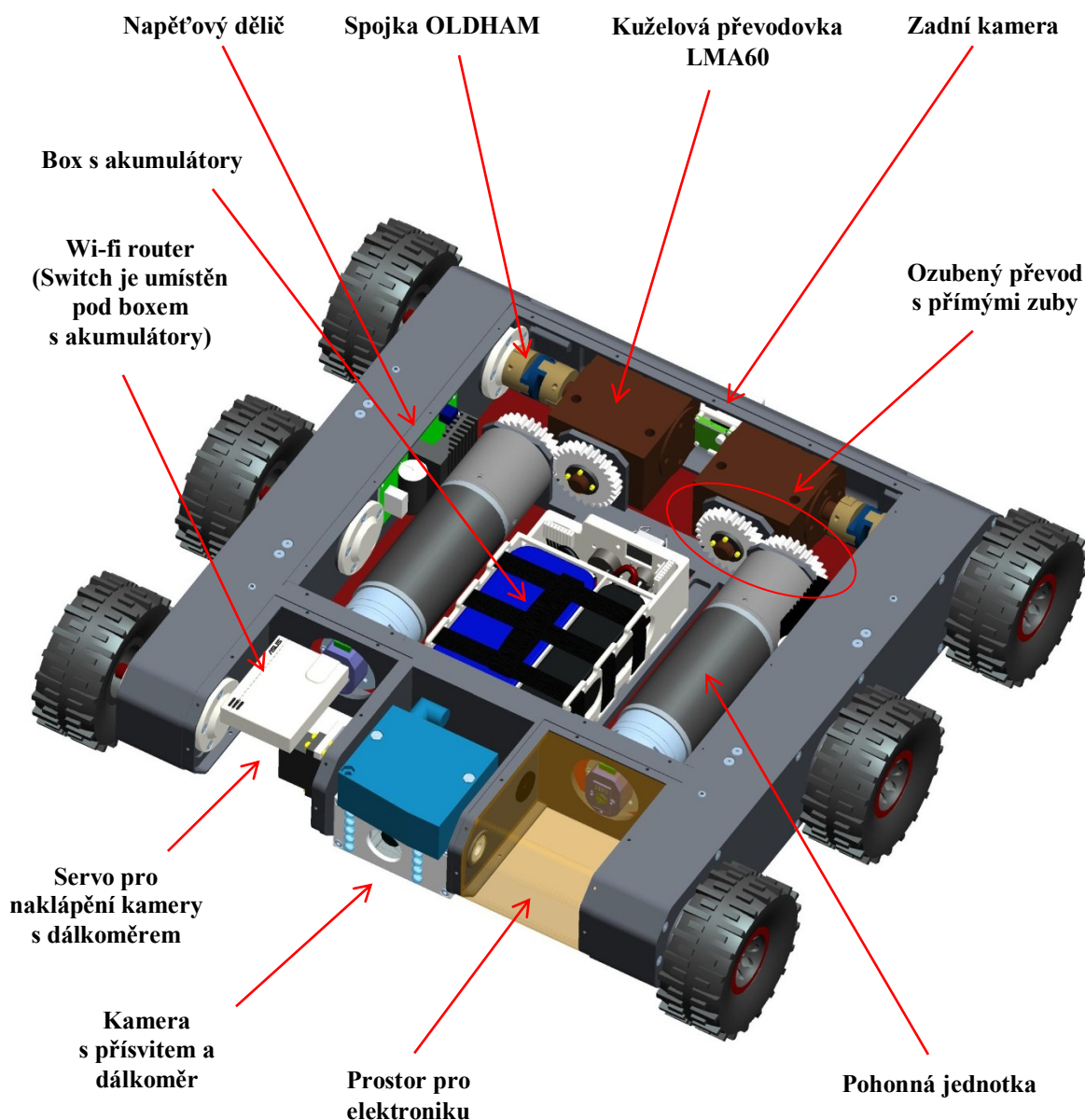
##### **Varianta A - použití šnekové nebo úhlové převodovky**

V této variantě se uvažovalo použití kuželových, šnekových, případně úhlových planetových převodovek. U návrhu se už v jeho počátku objevil zásadní problém, kterým byly rozměry převodovek a jejich cena (týkala se výhradně úhlových planetových převodovek). Nebylo jednoduché nalézt vhodnou kuželovou nebo šnekovou převodovku patřičných rozměrů. U šnekových tomu byla výška, u kuželových tomu byl půdorysný rozměr. V návrhu je použita nejmenší možná vhodná převodovka, konkrétně LMA60 společnosti T. E. A. Technik. Vzhledem k použitým pohonům disponující planetovými převodovkami byl zvolen převodový poměr 1:1. Navržená převodovka dále splňovala všechny parametry potřebné pro pohyb robotu (přenášený výkon, krouticí moment a otáčky). Veškerá konstrukce rámu, nosných prvků komponentů a krytování je ze slitin hliníku.



*Obr. 24 - Varianta A šestikolového podvozku*

Na obrázku 25 je znázorněno rozmístění jednotlivých komponentů. S použitím ozubeného převodu mezi kuželovou převodovkou a pohonnou jednotkou bylo možné zmenšit šířku robotu na minimální možnou hodnotu. Box s akumulátory pro snadnou výměnu je umístěn mezi pohonné jednotky, což by nemuselo být vhodné vzhledem k zahřívání motorů.



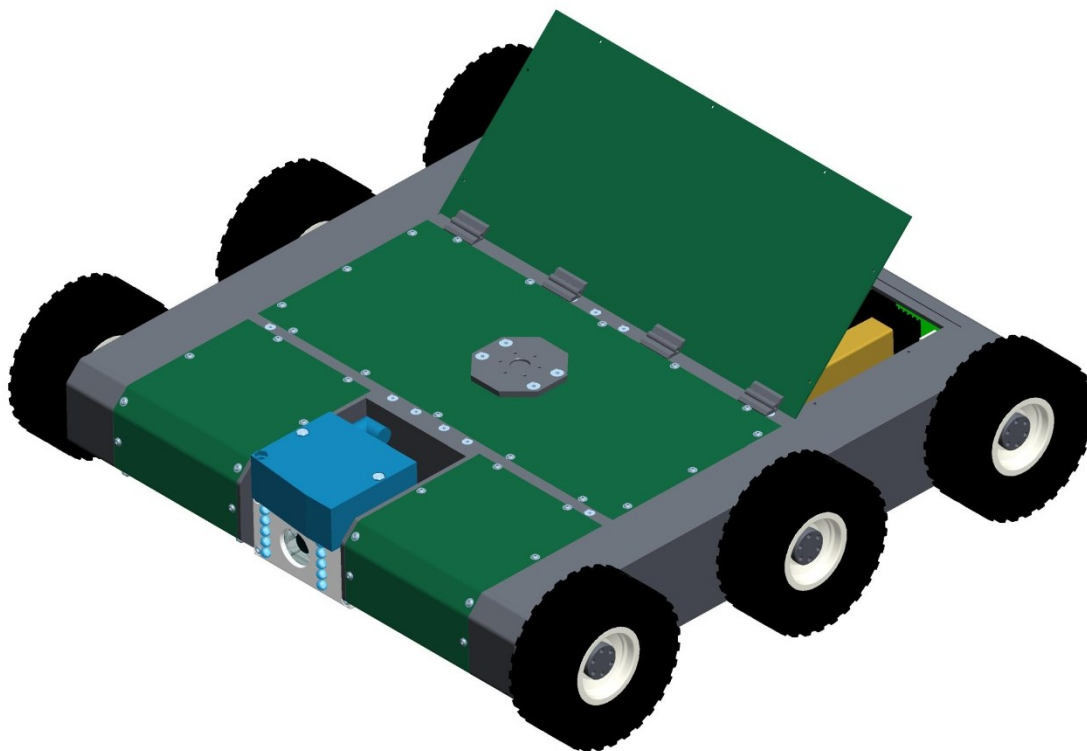
Obr. 25 - Varianta A šestikolového podvozku s rozmístěním jednotlivých komponentů

Vzhledem k hmotnosti by se jednalo o konstrukci svařovanou v kombinaci se šroubováním. Nevýhodou této konstrukce je vysoký odběr materiálu při výrobě bloku. Nebylo prakticky možné navrhnout profily, které by vyhovovaly všem požadavkům. Firmy nejsou u netypických rozměrů schopny dodat požadovaný rozměr materiálu (muselo by se například objednat 500 kilogramů, případně 6 metrů materiálu).

Kamera s přísvitkem a dálkoměrem, zpětná kamera, wi-fi router, switch, napěťové děliče, videograber a v rámci šestikolové varianty také pohonné jednotky, zůstávají pro všechny návrhy stejné. Po designové stránce je robot uzpůsoben malému prostoru, ve kterém jsou jednotlivé komponenty umístěny. Parametry této a všech ostatních konstrukcí jsou uvedeny pod popisem poslední varianty.

#### **Varianta B - pohony ve střední části podvozku**

Další možnou variantou bylo umístění pohonů do střední části podvozku. Jeden pohon je posunut mimo osu pomocí řemenového převodu, druhý je spojen se vstupní hřídelí řemenového převodu pomocí spojky OLDHAM. Akumulátor je umístěn v zadní části.

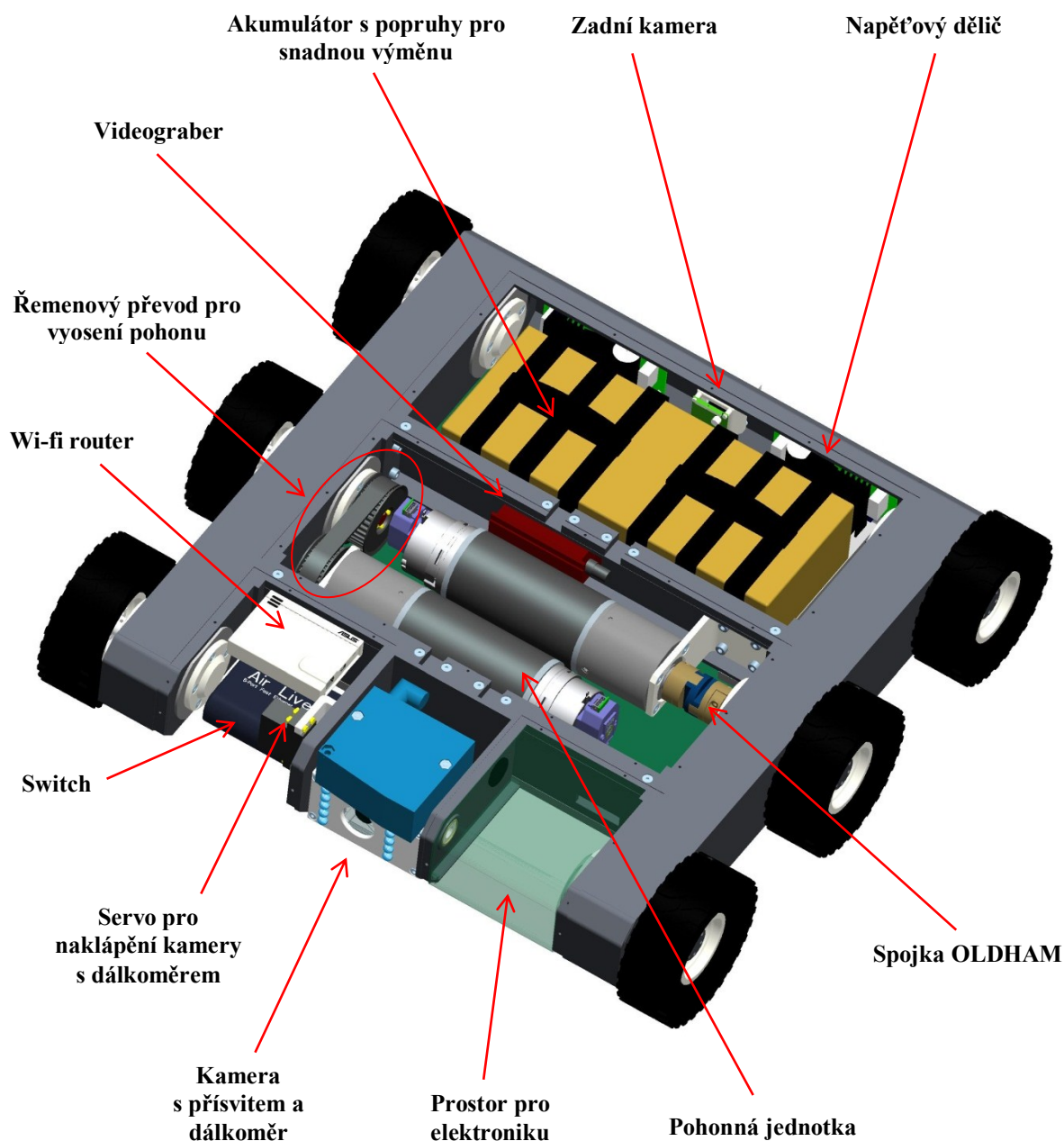


*Obr. 26 - Varianta B šestikolového podvozku*

Konstrukce rámu je o 10 mm nižší než u předchozí varianty. Byl navržen akumulátor, který se vyznačuje poměrně malými rozměry vzhledem ke kapacitě (rozměry 302x125x67 mm, hmotnost 3,5 kg, kapacita 21 Ah, napětí 24 V). Jeho nevýhodou však byla nutnost objednání z USA a tomu odpovídající cena. Na evropském trhu se akumulátor podobných parametrů dohledat nepodařilo. Tento akumulátor se však uvažoval pouze pro pohony. Pro elektroniku byl zvolen druhý, s odhadem potřebné kapacity a napětí. Při návrhu rámu se opět jednalo o konstrukci svařovanou v kombinaci se šroubováním

(kvůli montáži), který by měl být vzhledem ke svým parametrům a pohybovým předpokladům dostatečně tuhý. Jako bloky pro řemenový převodový systém byly navrženy obdélníkové jekly. Koncept rámu je kompletně z hliníku.

Pod textem je znázorněno rozmístění komponent. Vzhledem k použitému systému rozmístění pohonů se oproti předchozí variantě zvětšila šířka robotu, což vedlo k nárůstu jeho hmotnosti.

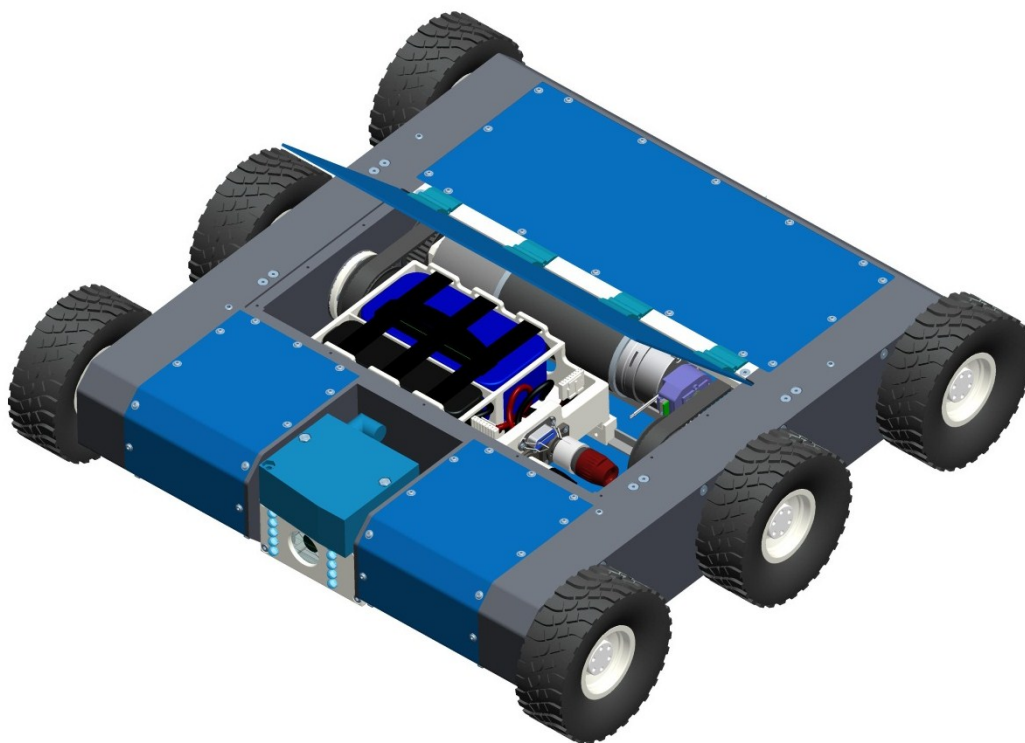


Obr. 27 - Varianta B šestikolového podvozku s rozmístěním jednotlivých komponentů

V tomto návrhu by se jednalo o velmi přesné umístění řemenového rozvodu v bloku, protože by se díry pro víka s požadovanou přesností vyráběly najednou.

**Varianta C - pohony v zadní části podvozku**

Pohonné jednotky pohánějí řemenový převod od prostřední hřídele, jako u varianty B, což je z kinematického hlediska nejvhodnější. Oba jsou posunuty mimo osu vzhledem ke konstrukci ostatních komponentů o vzdálenosti 75 mm u předního pohonu, a 135 mm u zadního pohonu. Napínání řemene u těchto jednotek je realizováno změnou osových vzdáleností. Koncepce bloků rámu podvozku je obdobná jako u varianty A. Ty obsahují komponenty řemenového převodu (řemenice, řemeny, napínací kladky apod.), a vzájemně jsou propojeny dvěma hlavními vzpěrami. Oproti předchozím návrhům podvozek disponuje menšími půdorysnými rozměry a nižší hmotností. Vnitřní strany bloků spolu se vzpěrami je možné spojit šroubováním v kombinaci s lepením (v dnešní době jsou, obvykle dvousložková, lepidla k lepení hliníku hojně používána díky poměrně vysoké pevnosti v tahu) nebo svařováním, což zaručí dostatečnou tuhost.

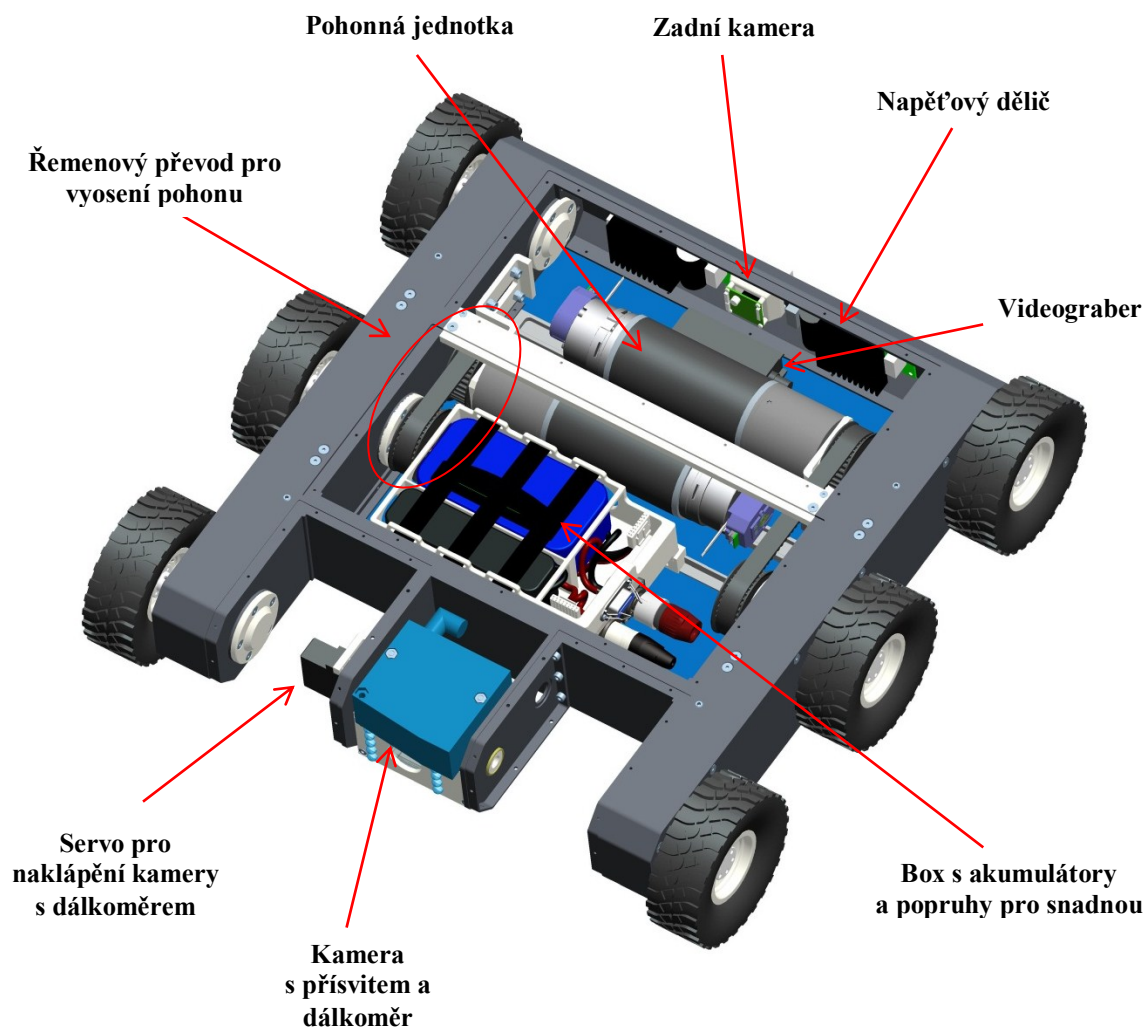


*Obr. 28 - Varianta C šestikolového podvozku*

Vedlejšími vzpěrami jsou profily pro podpírání pohonů (zmenšení namáhání boční části bloku při jeho uchycení), profily nesoucí box s akumulátory a profil pro uchycení horních krytů.



Box s akumulátory je umístěn v prostřední části podvozku a vzhledem k variantě A je jeho pozice vhodnější. Důvodem je vznikající teplo od pohonů, které akumulátorům škodí.



Obr. 29 - Varianta C šestikolového s rozmístěním jednotlivých komponentů

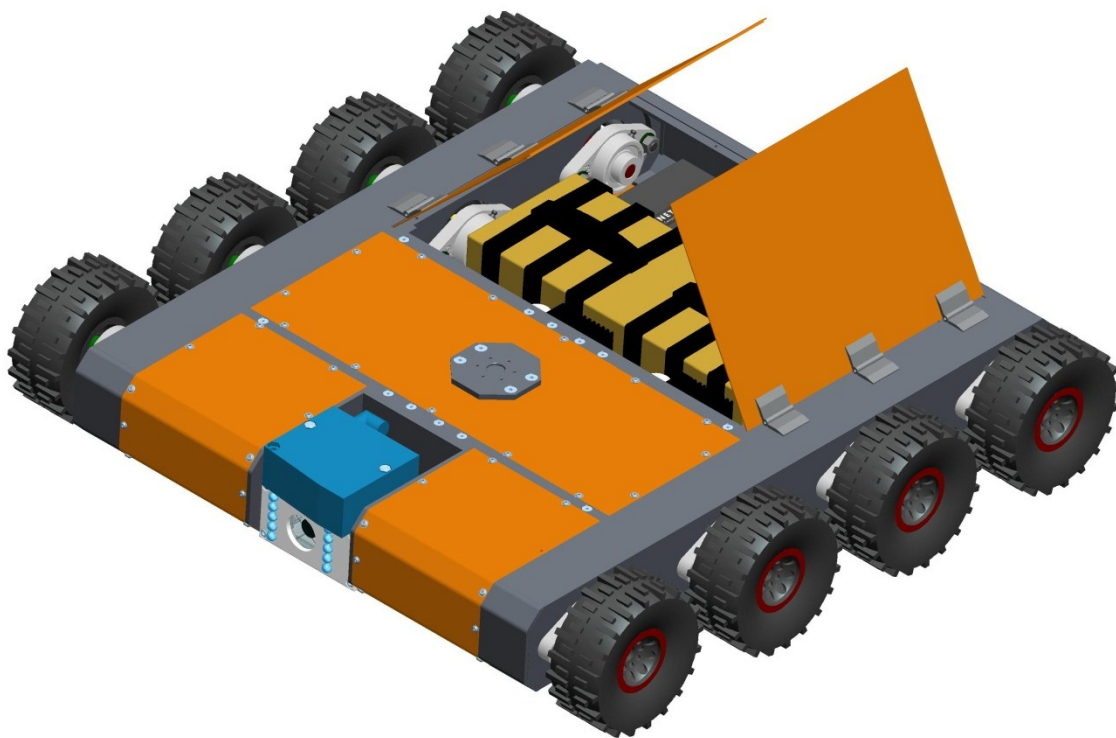
Switch je umístěn pod boxem s akumulátory, který je patřičně navýšen. Wi-fi router je umístěn na zadní straně přední vzpěry. Řídicí elektroniku je možné zabudovat do předních částí podvozku.

### 3.2 Osmikolový podvozek

#### Varianta A - použití alternativních ložiskových domečků

U osmikolových podvozků je k dispozici větší vnitřní prostor pro uspořádání komponentů. Nevýhodou těchto koncepcí je zvětšení půdorysných rozměrů a tím i hmotnosti.

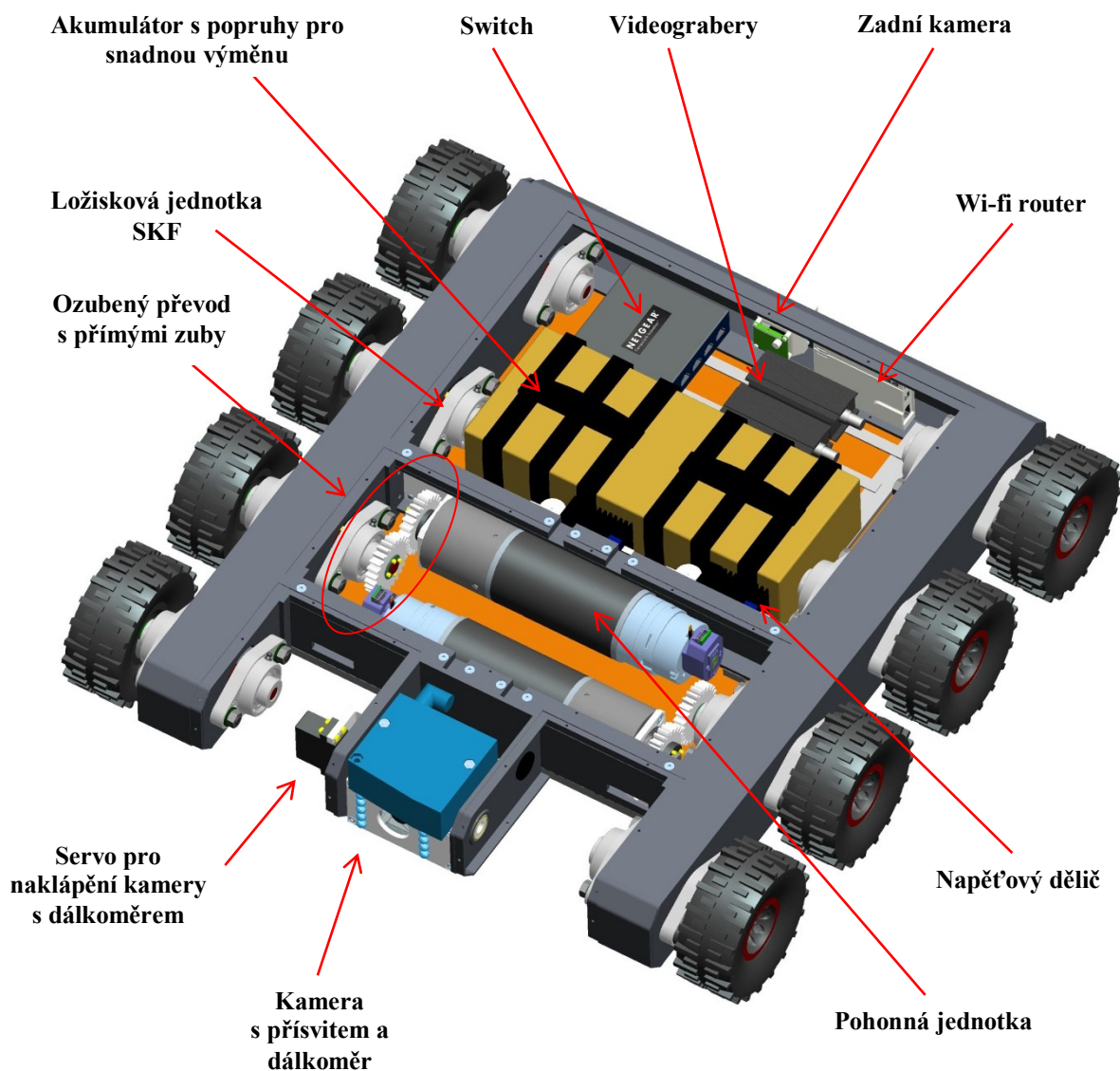
Cílem tohoto návrhu byla volba použitelných ložiskových jednotek. Byly zvoleny ložiskové jednotky firmy SKF, které jsou poměrně cenově a rozměrově výhodné. Oproti navřeným ložiskovým domkům však mají podstatně vyšší hmotnost (cca 230 g na jednu jednotku), což při jejich množství znamená nárůst hmotnosti o cca 4,5 kg. Výhodou by však byla úspora nákladů za výrobu vík a napínacích kladek. Napínání řemene by bylo realizováno pomocí změny osových vzdáleností hřídelů řemenového rozvodu, což ložiskové jednotky SKF snadno umožňují.



Obr. 30 - Varianta A osmikolového podvozku

Koncepce rámu vychází z varianty B šestikolového podvozku. Jsou tedy použity obdélníkové jekly, ve kterých jsou umístěny mechanismy řemenového rozvodu. Na vnitřních stranách bloků jsou vytvořeny větší otvory pro nasunutí hřídelů s řemenicemi. Rám by mohl být svařovaný, protože velikost vnitřního prostoru by nijak při nerozebíratelném spojení dílů montáž neomezovala. Vzhledem k návrhu rámu byly použity

stejné pohonné jednotky jako v předchozích návrzích. Akumulátor je rovněž shodný jako ve variantě B šestikolového podvozku. Pro přenos krouticího momentu z pohonné jednotky na hřídele řemenových převodů slouží ozubený převod s přímými zuby. Důvodem je zmenšení šířky rámu o 30 mm.



Obr. 31 - Varianta A osmikolového podvozku s rozmístěním jednotlivých komponentů

Místo pro elektroniku je dostatečné. Je tedy možné ji přizpůsobit dle potřeby. Hlavní výhodou tohoto návrhu by bylo usnadnění montáže díky použitým ložiskovým jednotkám a realizace napínání řemene změnou osových vzdáleností. Páry jednotek jsou k sobě spojeny čepy, které prochází celými bloky, tím by byla zaručena souosost při napínání. Umožňují rovněž naklápění ložisek.



**Varianta B - použití navržených ložiskových domečků**

Mechanismus řemenového rozvodu včetně bloků, kde je uložen, vychází z šestikolové varianty. Jedná se o velmi kompaktní řešení bloku, které nabízí poměrně značnou úsporu hmotnosti. Ta je rozhodujícím faktorem v návrhu podvozku a konkrétně se jedná o úsporu cca čtyř kilogramů oproti jiným konstrukcím (jiné návrhy ložiskových jednotek).

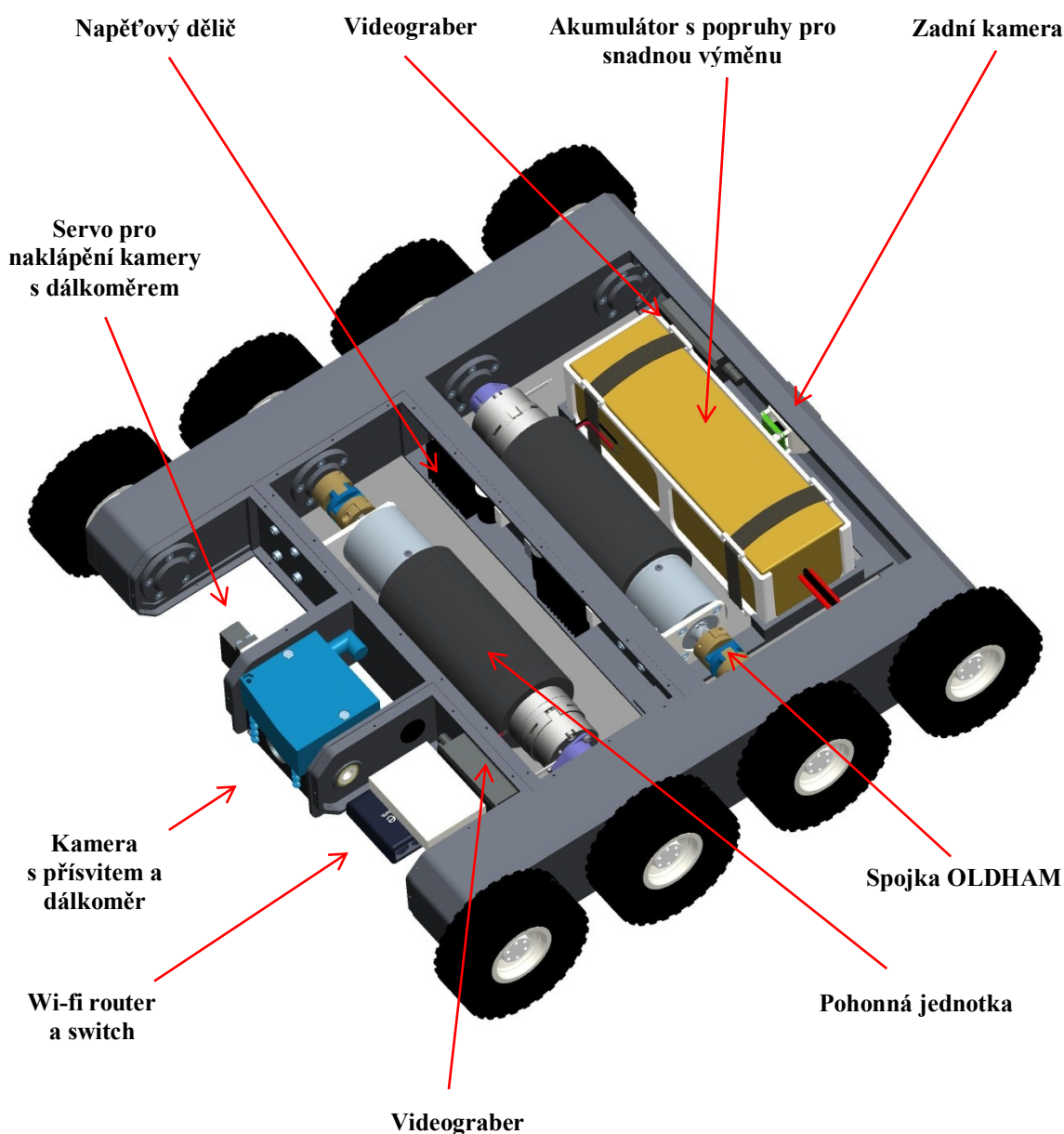


*Obr. 32 - Osmikolový robot - varianta B*

V tomto návrhu lze použít dvou typů spojení nosných dílů, samotné svařování nebo svařování v kombinaci se šroubováním. Jelikož je také tuhost rozhodujícím faktorem u robotu řízeného smykem, tak by se při realizaci návrhu preferovala konstrukce svařovaná. V tomto podvozku je dostatek prostoru pro montáž komponentů v nerozebíratelném rámu. Pohonné jednotky jsou s hnacími hřídelemi mechanismu spojeny pomocí spojek OLDHAM. V koncepci je použit jiný akumulátor obdobných parametrů od stejného výrobce, ale jiných rozměrů, které byly v návrhu žádoucí. Podobně jako u předchozích variant je použit pouze pro pohonné jednotky. Je tedy vhodné použít ještě jednu baterii pro elektroniku. V návrhu jsou použity pohonné jednotky stejné společnosti s vyššími

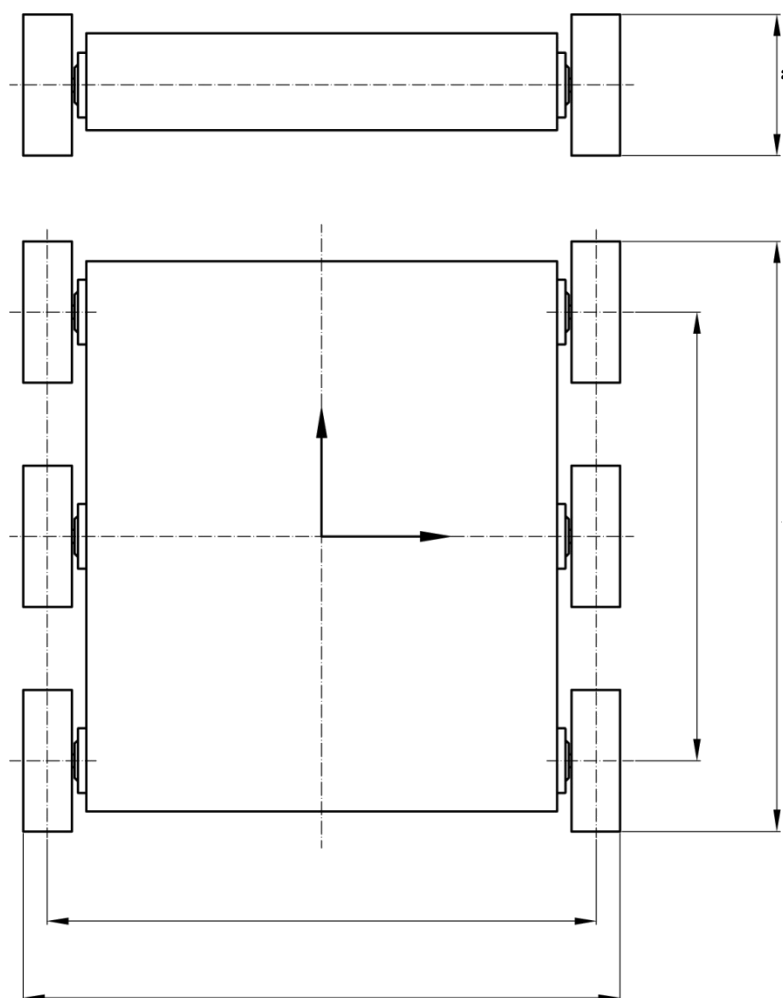
výkonnostními parametry. Vzhledem k větší výšce oproti variantě A a větším hmotnostem bylo možné pohon do návrhu zakomponovat.

Na obrázku 33 je naznačeno rozmístění jednotlivých komponentů. Díky prostornému podvozku je možné elektroniku zakomponovat dle potřeby.



Obr. 33 - Varianta B osmikolového podvozku s rozmístěním jednotlivých komponentů

### 3.3 Porovnání jednotlivých návrhů



Obr. 34 - Schéma k porovnání variant řešení

Parametr	Šestikolový podvozek			Osmikolový podvozek	
	Varianta			Varianta	
	A	B	C	A	B
<b>Hmotnost [kg]</b>	24,6	24,7	22,6	30	31
<b>Rozměry rámu d<sub>x</sub>šxv [mm]</b>	510x476x90	528x480x80	510x456x90	560x534x90	608x490x80
<b>Rozvor [mm]</b>	420	420	420	480	480
<b>Rozchod [mm]</b>	552	536	516	590	585
<b>Maximální rozměry podvozku d<sub>x</sub>šxv [mm]</b>	590x547x127	550x580x130	550x560x130	610x635x130	608x636x127

Tab. 20 - Porovnání hmotnosti a rozměrových parametrů jednotlivých návrhů

Osa	Šestikolový robot			Osmikolový robot	
	Varianta			Varianta	
	A	B	C	A	B
x [mm]	+ 1,3	+ 8,3	+ 3	+ 1	+ 0,6
y [mm]	- 36	- 12	- 34	- 1	- 15,6

Tab. 21 - Souřadnice těžiště vzhledem ke středu robotu (viz schéma)

Šestikolový podvozek varianta A	
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Snadná montáž řemenového rozvodu do bloků podvozku</li> <li>➤ Kompaktní box s akumulátory pro rychlou výměnu</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Komplikovaná výroba rámu (vysoký odběr materiálu)</li> <li>➤ Cena kuželových převodovek a převodu ozubenými koly</li> <li>➤ Hmotnost vzhledem k rozměrům</li> <li>➤ Malý prostor pro umístění elektrických komponentů (router, switch, videograber...)</li> </ul>
Šestikolový podvozek varianta B	
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Použití normalizovaných jeklů a profilů pro konstrukci rámu = nízké výrobní náklady rámu</li> <li>➤ Tuhost rámu</li> <li>➤ Oproti ostatním variantám vyšší světlá výška robotu</li> <li>➤ Umístěním akumulátoru v zadní části je možné aplikovat přírubu pro uchycení manipulační nadstavby se zachováním rychlé výměny akumulátoru</li> <li>➤ Kapacita akumulátoru vzhledem k hmotnosti a rozměrům</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cena akumulátoru</li> <li>➤ Nedostupnost akumulátoru v Evropě</li> <li>➤ Složitá montáž do téměř uzavřených bloků</li> <li>➤ Nutnost použití druhého akumulátoru pro elektroniku</li> <li>➤ Větší šířka robotu dána použitím spojky OLDHAM</li> </ul>
Šestikolový podvozek varianta C	
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Oproti ostatním variantám nižší hmotnost</li> <li>➤ Snadná montáž řemenového rozvodu do bloků podvozku</li> <li>➤ Kompaktní box s akumulátory pro rychlou výměnu</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Komplikovaná výroba rámu (vysoký odběr materiálu)</li> <li>➤ Špatně realizovatelná možnost přidání příruby pro manipulační nadstavbu se zachováním rychlé výměny akumulátorů</li> </ul>

Tab. 22 - Porovnání výhod a nevýhod šestikolových podvozků

<b>Osmikolový podvozek varianta A</b>	
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cena ložiskových jednotek</li> <li>➤ Prostorný podvozek pro umístění komponent</li> <li>➤ Tuhost rámu</li> <li>➤ Použitím ložiskových jednotek odpadá výroba napínacích kladek a navržených ložiskových domků</li> <li>➤ Kapacita akumulátoru vzhledem k hmotnosti a rozměrům</li> <li>➤ Optimální souřadnice těžiště</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Půdorysné rozměry</li> <li>➤ Hmotnost ložiskových jednotek</li> <li>➤ Cena akumulátoru</li> <li>➤ Nedostupnost akumulátoru v Evropě</li> <li>➤ Nutnost použití druhého akumulátoru pro elektroniku</li> </ul>
<b>Osmikolový podvozek varianta B</b>	
<b>Výhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Úspora hmotnosti díky použití navržených ložiskových jednotek</li> <li>➤ Prostorný podvozek pro umístění komponent</li> <li>➤ Tuhost rámu</li> <li>➤ Kapacita akumulátoru vzhledem k hmotnosti a rozměrům</li> </ul>
<b>Nevýhody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Půdorysné rozměry</li> <li>➤ Hmotnost pohonů</li> <li>➤ Cena akumulátoru</li> <li>➤ Nedostupnost akumulátoru v Evropě</li> <li>➤ Nutnost použití druhého akumulátoru pro elektroniku</li> <li>➤ Komplikovaná výroba rámu (vysoký odběr materiálu)</li> <li>➤ Nutnost použití napínacích kladek pro každý řemenový převod</li> </ul>

*Tab. 23 - Porovnání výhod a nevýhod osmikolových podvozků*

## 4 Výběr optimální varianty

V této kapitole byla dle hodnotové analýzy na základě navržených variant řešení vybrána nejvhodnější varianta.

### 4.1 Hodnoty kritérií

Hodnoty kritérií jsou klíčovou zásadou pro aplikaci hodnotové analýzy. Byla zvolena následující stupnice hodnocení.

ÚROVEŇ KRITÉRIA	BODY
Vysoká	6
Dobrá	5
Průměrná	4
Nízká	3
Nevyhovující	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 24 - Bodová stupnice hodnocení

### 4.2 Významnost kritérií

VÝZNAMNOST KRITÉRIÍ	
Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 25 - Významnost kritérií



### 4.3 Hodnoticí kritéria

Označení kritéria	Kritérium	Varianty řešení				
		Osmikolový robot		Šestikolový robot		
		A	B	A	B	C
K1	Hmotnost	1	2	3	3	5
K2	Rozměry	2	1	4	4	5
K3	Náklady na výrobu	2	4	2	5	2
K4	Náklady na komponenty	3	2	5	2	5
K5	Energetická náročnost	3	2	3	3	4
K6	Složitost konstrukce	2	5	2	5	3
K7	Vnitřní prostor pro komponenty MR	6	6	2	3	4
K8	Tuhost rámu	5	5	3	5	3

Tab. 26 - Zhodnocení kritérií jednotlivých variant

OZNAČENÍ KRITÉRIA	CHARAKTERISTIKA KRITÉRIA
K1	Celková hmotnost robotu (bez přídatku na nosnost 5kg)
K2	Délka, šířka a výška robotu
K3	Odhad nákladů vztahených ke složitosti navržených dílů sestavy robotu
K4	Veškeré pořizovací náklady komponentů a montážního materiálu
K5	Spotřeba komponentů elektroniky a pohonů vzhledem k velikosti, ceně a kapacitě akumulátorů
K6	Složitost konstrukce robotu a k ní vztahená náročnost montáže
K7	Složitost uspořádání komponentů vzhledem k prostoru daného podvozku
K8	Tuhost, odvíjející se od použitých materiálů a technologie spojení jednotlivých dílů (svařování, šroubování)

Tab. 27 - Popis kritérií

#### 4.4 Určení významnosti metodou trojúhelníku párů

Porovnáváné páry kritérií							Počet voleb „v“	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	5	2.
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	1,5	6. - 7.
	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
	K3	K3	K3	K3	K3	K3	1,5	6. - 7.
	K4	K5	K6	K7	K8			
		K4	K4	K4	K4		1	8
		K5	K6	K7	K8			
			K5	K5	K5		2	5.
			K6	K7	K8			
				K6	K6		4,5	3.
				K7	K8			
					K7		3,5	4.
					K8		5,5	1.

Vypracoval:  
Bc. David Hanzlík

Tab. 28 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná autorem

Porovnáváné páry kritérií							Počet voleb „v“	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	2	6.
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	6,5	1. - 2.
	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
	K3	K3	K3	K3	K3	K3	4	3. - 4.
	K4	K5	K6	K7	K8			
		K4	K4	K4	K4		3,5	5.
		K5	K6	K7	K8			
			K5	K5	K5		0,5	7. - 8.
			K6	K7	K8			
				K6	K6		0,5	7. - 8.
				K7	K8			
					K7		6,5	1. - 2.
					K8		4	3. - 4.

Vypracoval:  
Bc. Tomáš Bartek

Tab. 29 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná prvním expertem

Porovnávané páry kritérií							Počet voleb „v“	Pořadí
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	2	6.
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	7	1
	K3	K4	K5	K6	K7	K8		
		K3	K3	K3	K3	K3	5	2. - 3.
		K4	K5	K6	K7	K8		
			K4	K4	K4	K4	5	2. - 3.
			K5	K6	K7	K8		
				K5	K5	K5	3	4. - 5.
				K6	K7	K8		
					K6	K6	3	4. - 5.
					K7	K8		
						K7	1,5	7. - 8.
						K8	1,5	7. - 8.

Vypracoval:  
 Bc. Benedikt Rolný

Tab. 30 - Metoda trojúhelníku párů vypracovaná druhým expertem

#### 4.5 Určení váhy významnosti

KRITÉRIUM	VÁHA VÝZNAMNOSTI q
K1	3,00
K2	5,00
K3	3,50
K4	3,17
K5	1,83
K6	2,67
K7	3,83
K8	3,67

Tab. 31 - Váha významnosti

#### 4.6 Hodnocení jednotlivých variant

Osmikolový podvozek - varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti „q“	Vážený index kritéria
K1	1	3,00	3,00
K2	2	5,00	10,00
K3	2	3,50	7,00
K4	3	3,17	9,50
K5	3	1,83	5,50
K6	2	2,67	5,33
K7	6	3,83	23,00
K8	5	3,67	18,33
Celkový součet indexů			81,67

Tab. 32 - Zhodnocení varianty A osmikolového podvozku

Osmikolový podvozek - varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti „q“	Vážený index kritéria
K1	2	3,00	6,00
K2	1	5,00	5,00
K3	4	3,50	14,00
K4	2	3,17	6,33
K5	2	1,83	3,67
K6	5	2,67	13,33
K7	6	3,83	23,00
K8	5	3,67	7,34
Celkový součet indexů			78,67

Tab. 33 - Zhodnocení varianty B osmikolového podvozku

Šestikolový podvozek - varianta A			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti „q“	Vážený index kritéria
K1	3	3,00	9,00
K2	4	5,00	20,00
K3	2	3,50	7,00
K4	5	3,17	15,83
K5	3	1,83	5,50
K6	2	2,67	5,33
K7	2	3,83	7,67
K8	3	3,67	14,68
Celkový součet indexů			85,01

Tab. 34 - Zhodnocení varianty A šestikolového podvozku

Šestikolový podvozek - varianta B			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti „q“	Vážený index kritéria
K1	3	3,00	9,00
K2	4	5,00	20,00
K3	5	3,50	17,50
K4	2	3,17	6,33
K5	3	1,83	5,50
K6	5	2,67	13,33
K7	3	3,83	11,50
K8	5	3,67	14,68
Celkový součet indexů			97,85

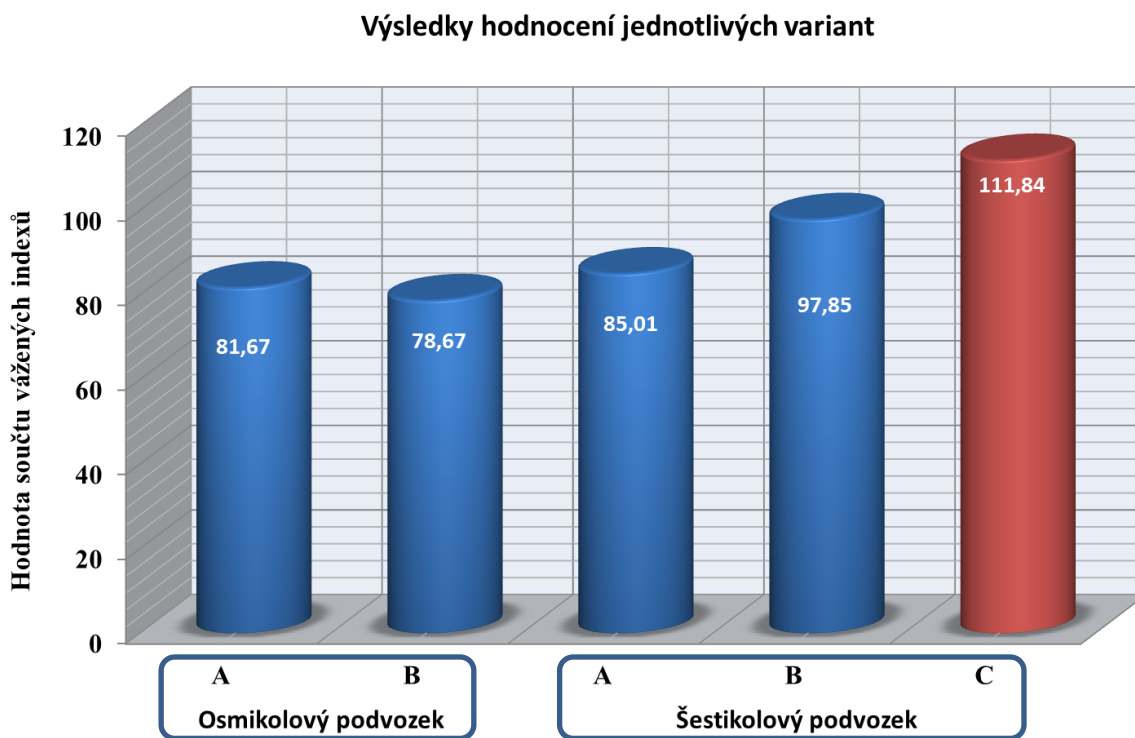
Tab. 35 - Zhodnocení varianty B šestikolového podvozku

Šestikolový podvozek - varianta C			
Kritérium	Hodnota	Váha významnosti „q“	Vážený index kritéria
K1	5	3,00	15,00
K2	5	5,00	25,00
K3	2	3,50	7,00
K4	5	3,17	15,83
K5	4	1,83	7,33
K6	3	2,67	8,00
K7	4	3,83	15,33
K8	3	3,67	18,34
Celkový součet indexů			111,84

Tab. 36 - Zhodnocení varianty C šestikolového podvozku

#### 4.7 Vyhodnocení a určení ideální varianty

Na základě součtů vážených indexů byl vypracován graf, z kterého je zřejmé, že optimálním řešením bude šestikolový robot varianty C.



*Graf. 1 - Výsledky hodnocení variant řešení*

Na základě požadavkového listu a zjištění prvotních nákladů a doby dodání rámu z hliníku bylo rozhodnuto, že se místo hliníku použije materiál polykarbonát, který se zároveň otestuje v této náročné aplikaci. Výhodou je vlastnictví 3D systému Rapid Prototyping katedrou a zejména rychlost realizace výroby.



## 5 Podvozek mobilního robotu

Prvním krokem návrhu podvozku bylo dimenzování pohonů.

### 5.1 Návrh pohonu

Při návrhu pohonů kolového podvozku mobilního robotu se vychází z teorie návrhu automobilů.

#### Jízdní odpory

Jsou to síly, které působí proti pohybu mobilního robotu. Potřebná hnací síla musí tedy překonat všechny tyto odpory.

$O_v$  - Vzdušný odpor

$O_f$  - Valivý odpor

$O_s$  - Odpor stoupání

$O_z$  - Odpor zrychlení

#### Hnací síla

$$F_K = O_v + O_f + O_s + O_z \quad (1)$$

#### Valivý odpor

Povrch	fk	Povrch	fk
Dlažba	0,02 – 0,03	Travnatý terén	0,08 – 0,15
Beton	0,015 – 0,025	Písečný terén	0,15 – 0,30
Asfalt	0,01 – 0,02	Zasněžený terén	0,20 – 0,30
Polní suchá cesta	0,04 – 0,02	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní mokrá cesta	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

Tab. 37 - Součinitel valivého odporu pro různé jízdní povrchy

#### Valivý odpor robotu

Je vyjádřen jako součet valivých odporů všech kol.

$$O_f = \sum_i Z_{Ki} \cdot f_{ki} \quad (2)$$

Pokud mají součinitelé valivého odporu stejnou hodnotu, lze vztah vyjádřit jako:

$$O_f = f_k \cdot G \cdot \cos \alpha = f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

**Vzdušný odpor**

Vzhledem k velikosti mobilního robotu a jeho maximální zvolené pohybové rychlosti je možné tento odpor zanedbat.

**Odpor stoupání**

$$O_s = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

$\alpha$  - Úhel nakloněné roviny

$G$  - Celková tíha servisního robotu

**Odpor zrychlení**

$$O_z = g \cdot m \cdot a \quad (5)$$

$g$  - Součinitel vlivu rotačních částí soustavy zohledňující odpor rotujících částí pohonu. Ve stávajícím případě byla zvolena hodnota součinitele 1,5.

**Hnací síla**

Tento šestikolový robot bude disponovat dvěma hnacími koly. Je tedy důležité hnací sílu rozdělit mezi tyto dvě kola. Celková hnací síla tedy bude mít tvar:

$$F_K = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{f_k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha_K}{n} + m \cdot g \cdot \sin \alpha_K + g \cdot m \cdot a \right) \quad (6)$$

**Výpočet potřebných parametrů hnacího kola**

Při dimenzování potřebných parametrů hnacího kola se vycházelo z nejnepríznivějších podmínek, kterým může být robot v reálné situaci vystaven. Výpočet byl proveden pro čtyři následující situace (A, B, C, D).

**A Určení potřebných parametrů pohonu pro rozjezd z klidu po rovině**

Popis veličiny	Značka	Hodnota	Jednotka
Maximální hmotnost robotu	m	30	kg
Gravitační zrychlení	g	9,81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel valivého odporu	$f_k$	0,015	-
Maximální rychlost robotu	$v_{p\max}$	2,77	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení robotu	$a_{p\max}$	0,93	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel vlivu rotačních částí	$\vartheta$	1,5	-
Úhel nakloněné roviny	$\alpha_K$	0	°
Poloměr kola	$r_K$	0,065	m

Tab. 38 - Vstupní parametry výpočtu pro situaci A

**Hnací síla**

Dosazením do vzorce (6) byla vypočtena potřebná hnací síla

$$F_K = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{0,015 \cdot 30 \cdot 9,81 \cdot \cos(0)}{6} + 30 \cdot 9,81 \cdot \sin(0) + 1,5 \cdot 30 \cdot 0,93 \right) = 21,2 \text{ N}$$

**Potřebný výkon**

$$P_K = F_K \cdot v_{p\max} = 21,2 \cdot 2,77 = 59 \text{ W} \quad (7)$$

**Potřebný krouticí moment**

$$M_K = F_K \cdot r_K = 21,2 \cdot 0,065 = 1,38 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (8)$$

**Potřebné otáčky**

$$n_K = \frac{60 \cdot v_{p\max}}{2 \cdot r_K \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 2,77}{2 \cdot 0,065 \cdot \pi} = 408 \text{ min}^{-1} \quad (9)$$

**B Určení potřebných parametrů pohonu při rovnoměrném pohybu po rovině**

Popis veličiny	Značka	Hodnota	Jednotka
Maximální hmotnost robotu	m	30	kg
Gravitační zrychlení	g	9,81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel valivého odporu	$f_k$	0,015	-
Maximální rychlost robotu	$v_{p\max}$	2,77	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení robotu	$a_{p\max}$	0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel vlivu rotačních částí	$\vartheta$	1,5	-
Úhel nakloněné roviny	$\alpha_K$	0	°
Poloměr kola	$r_K$	0,065	m

Tab. 39 - Vstupní parametry výpočtu pro situaci B

Postupným dosazením zadaných hodnot do vzorců (6), (7), (8) a (9) byly vypočteny tyto hodnoty parametrů:

**Hnací síla**

$$F_K = 0,37 \text{ N}$$

**Potřebný výkon**

$$P_K = 1 \text{ W}$$

**Potřebný krouticí moment**

$$M_K = 0,02 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**Potřebné otáčky**

$$n_K = 408 \text{ min}^{-1}$$

**C Určení potřebných parametrů pohonu při pohybu z klidu do nakloněné roviny**

Popis veličiny	Značka	Hodnota	Jednotka
Maximální hmotnost robotu	m	30	kg
Gravitační zrychlení	g	9,81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel valivého odporu	$f_k$	0,015	-
Maximální rychlost robotu	$v_{\text{pmax}}$	1,39	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení robotu	$a_{\text{pmax}}$	0,46	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel vlivu rotačních částí	$\vartheta$	1,5	-
Úhel nakloněné roviny	$\alpha_K$	25	°
Poloměr kola	$r_K$	0,065	m

Tab. 40 - Vstupní parametry výpočtu pro situaci C

Postupným dosazením zadaných hodnot do vzorců (6), (7), (8) a (9) byly vypočteny tyto hodnoty parametrů:

**Hnací síla**

$$F_K = 72,9 \text{ N}$$

**Potřebný výkon**

$$P_K = 101,3 \text{ W}$$

**Potřebný krouticí moment**

$$M_K = 4,74 \text{ N} \cdot \text{m}$$

**Potřebné otáčky**

$$n_K = 204 \text{ min}^{-1}$$

## D Určení potřebných parametrů pohonu při rovnoměrném pohybu do nakloněné roviny

Popis veličiny	Značka	Hodnota	Jednotka
Maximální hmotnost robotu	m	30	kg
Gravitační zrychlení	g	9,81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel valivého odporu	$f_k$	0,015	-
Maximální rychlost robotu	$v_{p\max}$	1,39	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Maximální zrychlení robotu	$a_{p\max}$	0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Součinitel vlivu rotačních částí	$\vartheta$	1,5	-
Úhel nakloněné roviny	$\alpha_K$	25	°
Poloměr kola	$r_K$	0,065	m

Tab. 41 - Vstupní parametry výpočtu pro situaci C

Postupným dosazením zadaných hodnot do vzorců (6), (7), (8) a (9) byly vypočteny tyto hodnoty parametrů:

### Hnací síla

$$F_K = 62,5 \text{ N}$$

### Potřebný výkon

$$P_K = 86,84 \text{ W}$$

### Potřebný krouticí moment

$$M_K = 4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### Potřebné otáčky

$$n_K = 204 \text{ min}^{-1}$$

Situace	Požadované parametry			
	Hnací síla $F_K$ [N]	Výkon $P_K$ [W]	Krouticí moment $M_K$ [N·m]	Otáčky $n_K$ [min <sup>-1</sup> ]
A	21,2	59	1,38	408
B	0,37	1	0,02	408
C	72,9	101,3	4,74	204
D	62,5	86,84	4	204

Tab. 42 - Souhrn požadovaných parametrů pohonu



Označení vstupních parametrů pro volbu pohonu

[3], [4]

## 5.2 Volba pohonu

### 5.2.1 Alternativy

Během monitorování trhu a analýzy vhodných pohonů vznikl problém s výstupními parametry. Konkrétně výkonnostní parametry na úkor požadovaného krouticího momentu nebo otáček. Nebylo jednoduché najít společnost, která by v této konfiguraci poskytla vhodnou pohonnou jednotku. Vznikaly problémy především s hmotností, rozměry a s absencí potřebných komponentů. Naskytly se tedy následující varianty.

#### Pohonná jednotka firmy Transtecno

Tato jednotka se blížila požadovaným parametrům. Motor s planetovou převodovkou bylo možné dovybavit brzdou a vhodným enkodérem. Nevýhodou byla poměrně velká hmotnost motoru a jeho rozměry.

Typ motoru	EC180.24E
Typ převodovky	P621
Výkon jednotky	180W
Napětí	24 V DC
Nominální krouticí moment	4,3 Nm
Otáčky	444 min <sup>-1</sup>
Hmotnost (pouze motor)	3,4 kg

Tab. 43 - Základní parametry pohonné jednotky Transtecno

[13]

#### Pohonná jednotka společnosti Dunkermotoren

Tato jednotka je tvořena motorem, planetovou převodovkou, brzdou a enkodérem. Pohony jsou výborné kvality, čemuž odpovídá i cena. Nevýhodou je opět hmotnost a rozměry vzhledem k výkonu a výstupním hodnotám pohonné jednotky. Výhodou je tichý chod a vysoká účinnost.



Obr. 35 - Zleva: Enkodér RE 30-2-50, Brzda Asto E 92, Motor GR 80x40, Převodovka PLG 63



Typ motoru	GR 80x40
Typ převodovky	PLG 63
Brzda	Asto E 92
Enkodér	RE 30-2-50
Výkon jednotky	120W
Napětí	24 V DC
Nominální krouticí moment	2,6 Nm
Otáčky	300 min <sup>-1</sup>
Hmotnost (celá jednotka)	4 kg

Tab. 44 - Základní parametry pohonné jednotky

[14]

### 5.2.2 Zvolená pohonná jednotka

Jako optimální byl zvolen kvalitní pohon od společnosti Dunkermotoren, jehož parametry vyhovovaly požadovaným hodnotám. Je modifikací varianty pohonné jednotky stejné společnosti popsané v bodě 5.2.1. Změna je v použitých motorech, které nejsou pro firmu standartní a musely se objednat. Výhodou byla úspora hmotnosti (o 2,2 kg) a rozměrů. Důležitým aspektem volby pohonu byl také vhodný odhad kinematických účinků při pohybu robotu zejména při smyku. Komponenty pohonné jednotky byly zvoleny od společnosti Dunkermotoren.

#### Kartáčový DC motor řady GR 63Sx55

Tento motor je vysoce výkonný vzhledem ke svým rozměrům a hmotnosti. Motor lze vhodně kombinovat s převodovkami, brzdami a enkodéry stejné firmy.

Výkon	130 W
Napětí	24 V DC
Nominální krouticí moment	0,32 N·m
Startovací krouticí moment	3,4 N·m
Otáčky	3500 min <sup>-1</sup>
Otáčky bez zátěže	3550 min <sup>-1</sup>
Jmenovitý proud	5,8 A
Rozběhový proud	53,3 A
Proud naprázdno	0,56 A
Hmotnost	1,7 kg



Tab. 45 - Parametry pohonu

Obr. 36 - Pohon GR 63Sx55

### Planetová převodovka PLG 63

Převodovka disponuje tichým chodem díky šikmému ozubení a použití kvalitních materiálů. Má vysokou účinnost a výstupní hřídel s dvojitým kuličkovým ložiskem, což zajišťuje dostatečnou radiální a axiální únosnost.



Obr. 37 - Převodovka PLG 63

Převodový poměr	10
Účinnost	0,9
Počet stupňů převodovky	1
Jmenovité zatížení	15 Nm
Hmotnost	0,7 kg
Axiální zatížení	800 N
Radiální zatížení	800 N

Tab. 46 - Parametry převodovky

### Brzda ASTO E 90 R

Brzda pracuje na rozpínacím principu, to znamená, že pokud robot stojí, není brzda napájena.

Operační napětí	24 V DC
Brzdný moment	1 N·m
Spotřeba proudu	310 m·A
Příkon	7,5 W
Spínací čas	30 m·s
Rozpínací čas	1,5 m·s
Hmotnost	0,5 kg

Tab. 47 - Parametry brzdy



Obr. 38 - Brzda ASTO E 90 R

**Enkodér RE 30-2-500**

Tento enkodér zajišťuje kvalitní a přesnou regulaci pohonu.

Operační napětí	5 V DC
Počet pulzů na jednu otáčku	512
Počet kanálů	2
Signál náběhu	200 N·s
Spotřeba proudu	17 (max. 40) m·A
Výstupní napětí (low - level)	max. 0,4 V DC (3,2 m·A)
Výstupní napětí (high - level)	min 2,4 V DC (40 μ·A)
Pracovní podmínky	Od -40°C do + 100°C



Tab. 48 - Parametry Enkodéru RE 30-2-500

Obr. 39 - Enkodér RE 30-2-500

[26], [27], [28], [29]

**Budiče motoru MD03**

Tyto můstky pro řízení motorů 24V/20A byly zvoleny na základě dřívějších zkušeností s těmito typy.

**Základní vlastnosti**

Napájení	5 ~ 24V pro motor, 5V pro logické obvody
Odběr proudu	do 20A pro motor, 50mA pro logické obvody
Vstup 1	0V - 2,5V - 5V » Zpět - Stop - Vpřed
Vstup 2	0V - 5V » samotné řízení směru
Rozměry (d×š×v)	113 x 52 x 30 mm



Obr. 40 - Můstek k řízení motoru

[21]

### 5.3 Návrh řemenového převodu

Při tomto návrhu se vycházelo především z aktuálních trendů této problematiky. Jako optimální řešení se naskytl převod distributora společnosti Gates firmy Haberkorn Ulmer. Řemenový převod byl zvolen z pohledu rozměrů, výkonu a hmotnosti. Návrh jednotlivých pohonů a výpočet pomocí programu Design Flex ® je uveden v příloze B. Ozubené řemenice byly dodávány jako polotovary s předvrtanou dírou. Jejich upevnění k hřídeli zajišťují svěrná pouzdra společnosti TEA Technik. Úpravy řemenic provedla firma Haberkorn Ulmer.

V souvislosti s těmito řemenicemi byla potřeba řešit samotné napínání řemenů. Naskytl se 2 možnosti. Buď zvolit napínáky firmy Resatec, které jsou standardně dodávány k řemenovým převodům Gates, nebo použít jiný, vhodně konstruovaný, systém napínání. Vzhledem k nevhodným rozměrům napínáku Resatec byla zvolena druhá možnost. Jejich konstrukce bude uvedena níže v textu.

[15]

#### Svěrná pouzdra

Při návrhu těchto pouzder byl jako vstupní parametr důležitý krouticí moment přenášeného převodu, který byl nadefinován jako  $M_{K_{\max}} = 15 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Byly navrženy pouzdra typu TLK 350, pro hřídele průměru 12, 15 a 16 mm, kdy nejmenší pouzdro přeneseme krouticí moment až 24 Nm při utahovacím momentu 1,2 N·m. Pouzdra se vyznačují krátkou dobou montáže a ekonomickým řešením. Při montáži však vzniká mírný axiální posuv, který byl vzhledem k aplikaci zanedbatelný.



Obr. 41 - Svěrné pouzdro TLK 350

Výstupním parametrem navržených pouzder byl již zmíněný krouticí moment a tlak na náboj, od kterého se odvíjela jeho minimální tloušťka. Ta se určila z následujícího vztahu.

$$D_M \geq D \cdot K \quad (10)$$

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_{02} + (C_n \cdot P_n)}{\sigma_{02} - (C_n \cdot P_n)}} \quad (11)$$

**Kde:**  $\sigma_{02}$  je mez průtažnosti závislá na materiálu náboje. Pro případ použitých řemenic je jeho velikost  $\sigma_{02} = 250 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ .

$C_n$  je faktor odpovídající šířce a tvaru náboje. Protože se jedná o případ, kdy celá vnější plocha pouzdra leží na pouzdře náboje, odpovídá mu velikost  $C_n = 1$ .

Obě tyto hodnoty jsou tabulkové.

#### **a Pro hřídel d = 12 mm**

Po dosazení do vzorce (10) a (11) vyjdou následující hodnoty.

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_{02} + (C_n \cdot P_n)}{\sigma_{02} - (C_n \cdot P_n)}} = \sqrt{\frac{250 + (1 \cdot 56)}{250 - (1 \cdot 56)}} = 1,26$$

Potom:

$$D_M \geq D \cdot K \geq 22 \cdot 1,26$$

$$D_M \geq 27,72 \text{ mm}$$

#### **b Pro hřídel d = 15 mm**

Po dosazení do vzorce (10) a (11) vyjdou následující hodnoty

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_{02} + (C_n \cdot P_n)}{\sigma_{02} - (C_n \cdot P_n)}} = \sqrt{\frac{250 + (1 \cdot 50)}{250 - (1 \cdot 50)}} = 1,22$$

Potom:

$$D_M \geq D \cdot K \geq 28 \cdot 1,22$$

$$D_M \geq 34,16 \text{ mm}$$

#### **c Pro hřídel d = 16 mm**

Po dosazení do vzorce (10) a (11) vyjdou následující hodnoty

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_{02} + (C_n \cdot P_n)}{\sigma_{02} - (C_n \cdot P_n)}} = \sqrt{\frac{250 + (1 \cdot 76)}{250 - (1 \cdot 76)}} = 1,37$$

Potom:

$$D_M \geq D \cdot K \geq 32 \cdot 1,37$$

$$D_M \geq 43,84 \text{ mm}$$

Zvolené řemenice mají patní průměr 56,16 mm. Svěrná pouzdra tedy vyhovují všem požadavkům. [25]

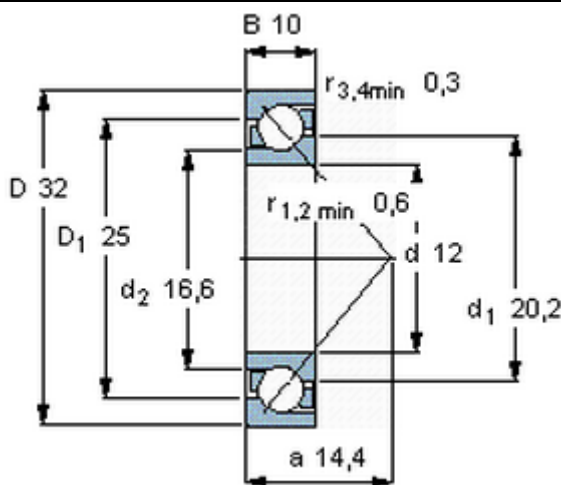
### Návrh hřídelů

Návrh jednotlivých hřídelů byl proveden pomocí programu MITCalc. Na hřídel působí síly od řemenových převodů, které už jsou v samotném návrhu pomocí programu Design Flex vypočteny. U návrhu došlo k mírnému překročení dovolených hodnot ve zkroucení a průhybu. Tyto hodnoty však nijak neomezují správný chod mechanismu.

### Volba ložisek

Ložiska jsou dimenzována pro radiální sílu, působící od řemenových převodů a hmotnosti robotu, a axiální sílu, působící při otáčení robotu, případně při působení hmotnosti za stavu, kdy bude robot zastaven na nakloněné rovině. Sílu při otáčení robotu smykem není jednoduché početně přesně určit, proto byly zvoleny kuličkové ložiska s kosoúhlým stykem společnosti SKF, které snesou vyšší zatížení. Umožňují použití velkého množství kuliček, což zaručuje poměrně vysokou únosnost. Ložiska jsou nerozebíratelná.

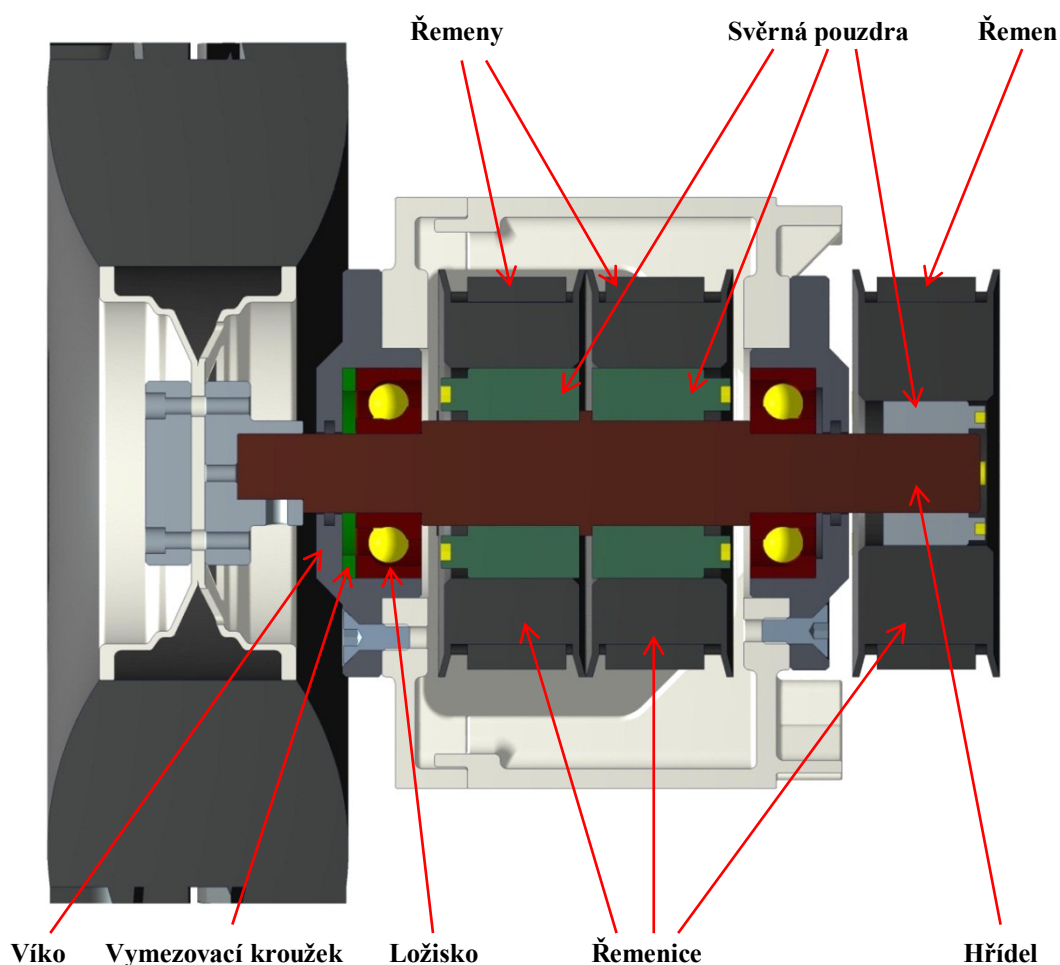
Typové označení	-	7201 BEP
Dynamická únosnost	C	7,61 kN
Statická únosnost	C <sub>0</sub>	3,8 kN
Přípustné otáčky	n	26000 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	M	0,036 kg



Tab. 49 - Parametry ložiska SKF



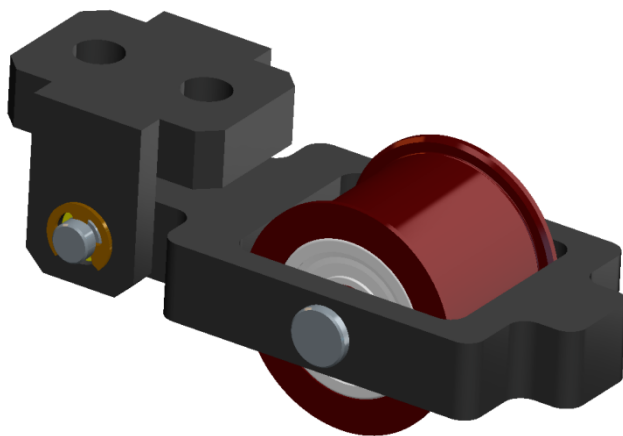
Vymezování vůlí těchto ložisek je realizováno distančním kroužkem ve vnějším víku. Na obrázku 42 je graficky zobrazeno uložení komponentů prostřední hřídele bloku. Zelenou barvou je znázorněno již zmíněné vymezování vůlí distančními kroužky.



Obr. 42 - Uložení řemenic střední hřídele

### Napínací mechanismus

Snahou bylo zvolit co možná nejjednodušší a kompaktní návrh. Ve výpočtu softwarem Design Flex je uvedena napínací síla 24 - 26 N. Při návrhu ložisek napínacích koleček byl použit program MITCalc. Ložiska byly dimenzovány na 50 N z důvodu změny směru otáčení a rázového zatížení řemenového převodu. Na obrázku 43 je uvedena samotná konstrukce. Skládá se ze dvou nosných dílů a napínacího kolečka. Tyto komponenty jsou k sobě spojeny čepy a zajištěny třmenovými kroužky. Čep spojující nosné díly je uložen v kluzných pouzdrech Iglidur G společnosti Igus.



Napínání bude realizováno utahováním stavěcího šroubu v konstrukci rámu jednotlivých bloků, ke kterému je napínací mechanismus rovněž upevněn. Návrhy, výpočty a pevnostní analýzy jednotlivých komponentů jsou uvedeny v přílohách.

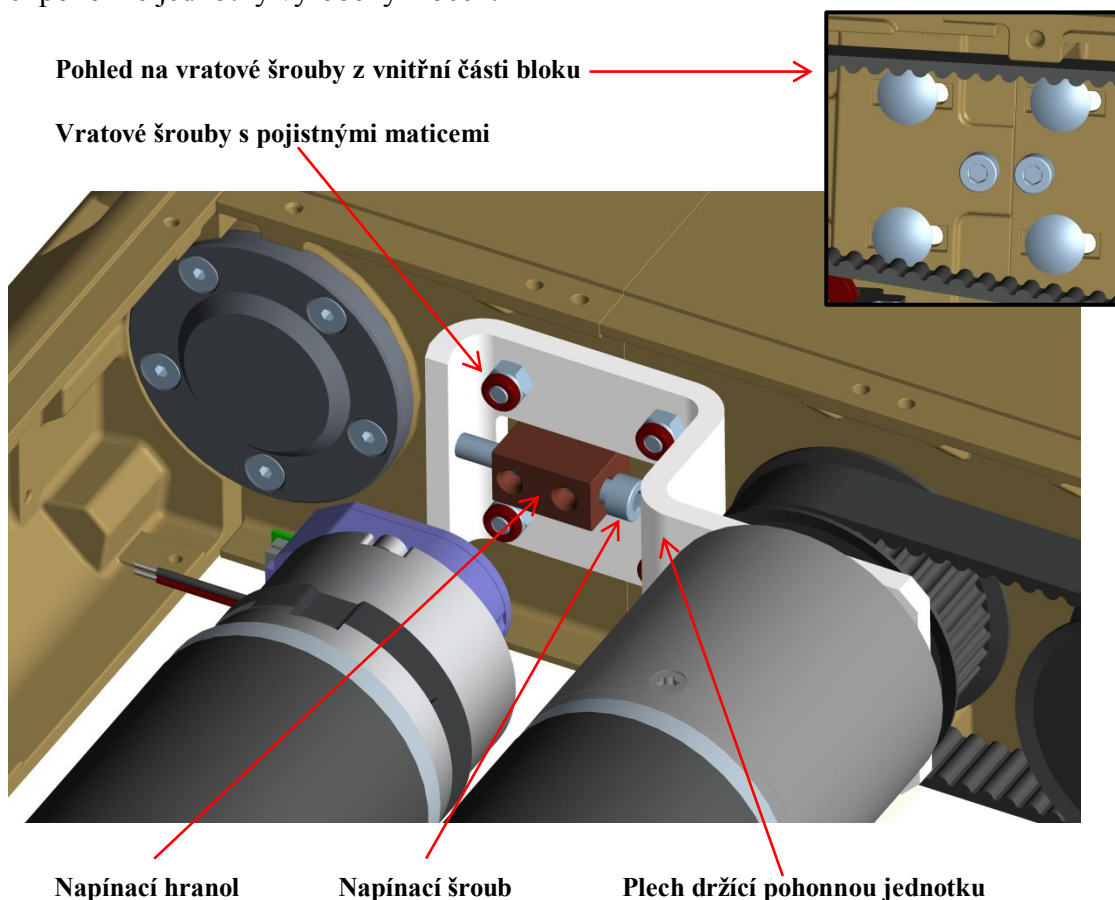
Obr. 43 - Konstrukce napínacího mechanismu

### Napínání řemene v oblasti pohonů

Zde je řešeno napínání změnou osové vzdálenosti řemenic. Je vyřešeno jednoduše a účelně. Pro prezentaci posloužila pohonná jednotka levého bloku. Vratové šrouby s pojistnými maticemi jsou umístěny v pohyblivých drážkách bloků, do kterých jsou přišroubovány napínací hranoly. Po napnutí řemene napínacím šroubem se utáhnou pojistné matice, čímž je napínání ukončeno. Na základě pevnostních analýz byly plechy držící pohonné jednotky vyrobeny z oceli.

Pohled na vratové šrouby z vnitřní části bloku

Vratové šrouby s pojistnými maticemi



Napínací hranol

Napínací šroub

Plech držící pohonnou jednotku

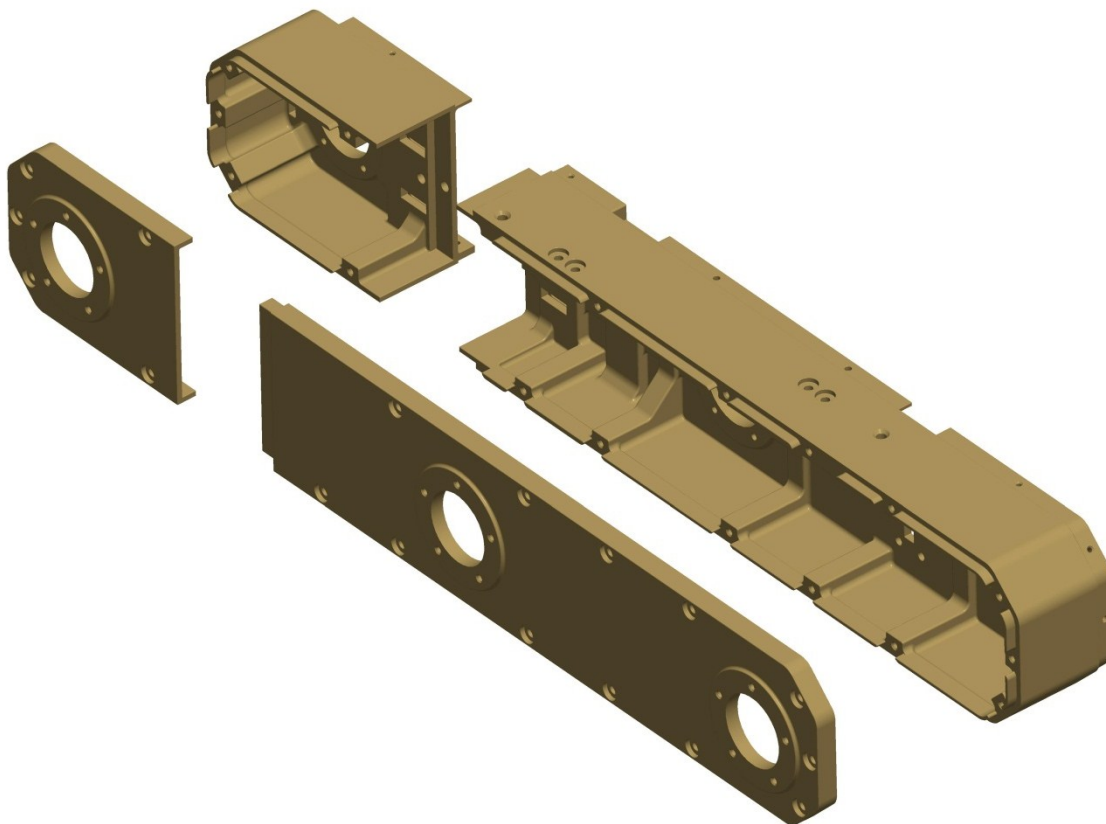
Obr. 44 - Princip napínání řemenů pohonných jednotek

#### 4.1 Návrh rámu

Při návrhu rámu se vycházelo ze zvolených a navržených komponentů sestavy. Výhodou bylo použití systému Rapid Prototyping, který umožňuje výrobu tvarově složitých součástí.

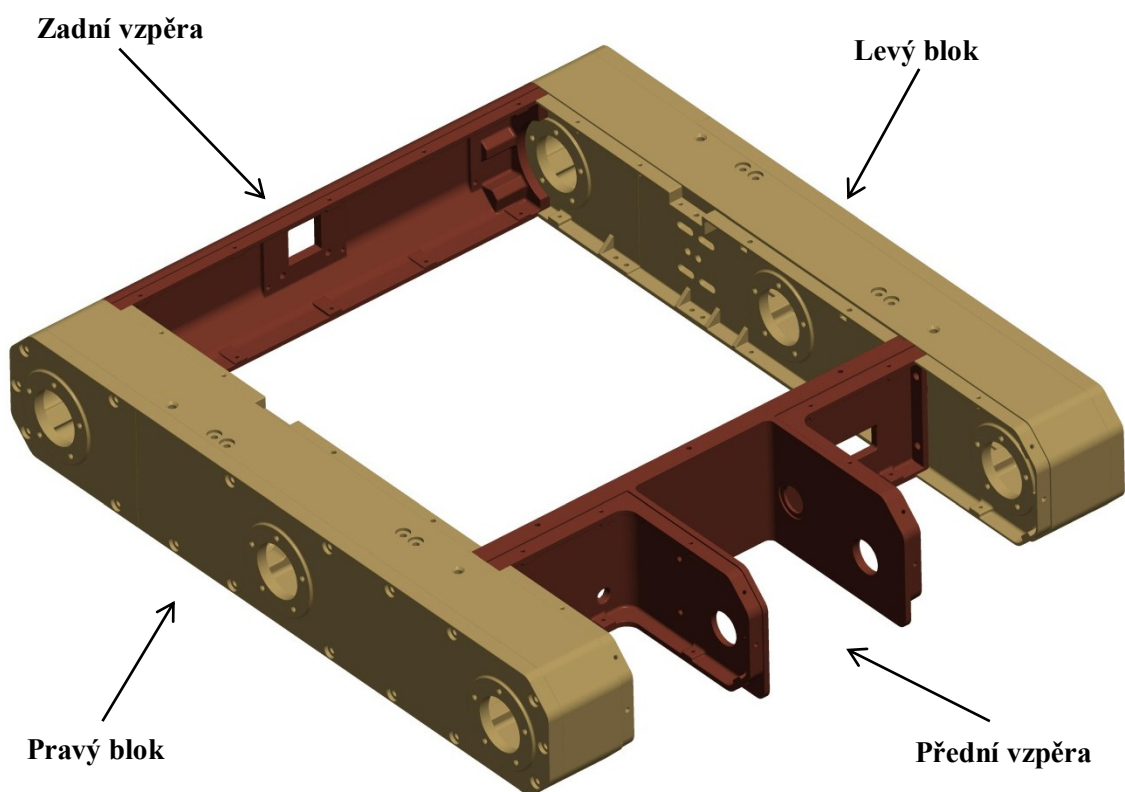
Při návrhu jednotlivých dílů se musel brát zřetel na tyto aspekty:

- maximální rozměr prostoru 3D tisku 406 x 356 x 406 mm,
- tvorba rozebíratelných funkčních sestav z důvodu tvorby podpůrného materiálu,
- tloušťka stěny minimálně 3 mm,
- vhodná volba žeber a výztuh,
- všechny související plochy navrhovat s vůlí 0,1 - 0,2 mm (dochází ke smršťování materiálu),
- otvory s větší přesností navrhovat s přídavkem na obrobení,
- vyvarovat se návrhu kuželových dosedacích ploch šroubů s materiálem tam, kde je zapotřebí pro utažení vyššího utahovacího momentu,



*Obr. 45 - Rám bloku podvozku před lepením*

Na základě výše popsaných aspektů byly navrženy z polykarbonátu bloky a hlavní vzpěry podvozku robotu. Musel být respektován maximální rozměr pracovního prostoru 3D tisku, při němž vznikl největší problém. Jednotlivé bloky rozměrově nevyhovovaly, tak došlo k jejich rozdělení v optimálním místě (*Obrázek 45*). Blok by se teoreticky dal umístit na prostorovou úhlopříčku pracovního prostoru, ale to neslo nevýhodu ve špatném obestavení dílů podpůrným materiálem, což by vedlo ke zhoršení jeho povrchu. V průběhu návrhu rámu byly prováděny pevnostní analýzy, na jejichž základě se rám robotu upravoval a vyztužoval.



*Obr. 46 - Kompletní hlavní nosný rám podvozku*

V přední a zadní vzpěře jsou umístěny kamerové subsystémy. Tento rám je ve výsledné realizaci doplněn o hliníkové vzpěry, které zvyšují celkovou tuhost rámu. Z důvodu snadnější montáže byl rám navržen jako rozebíratelný, kdy jsou přední a zadní vzpěry k blokům spojeny pomocí zámků a šroubů.

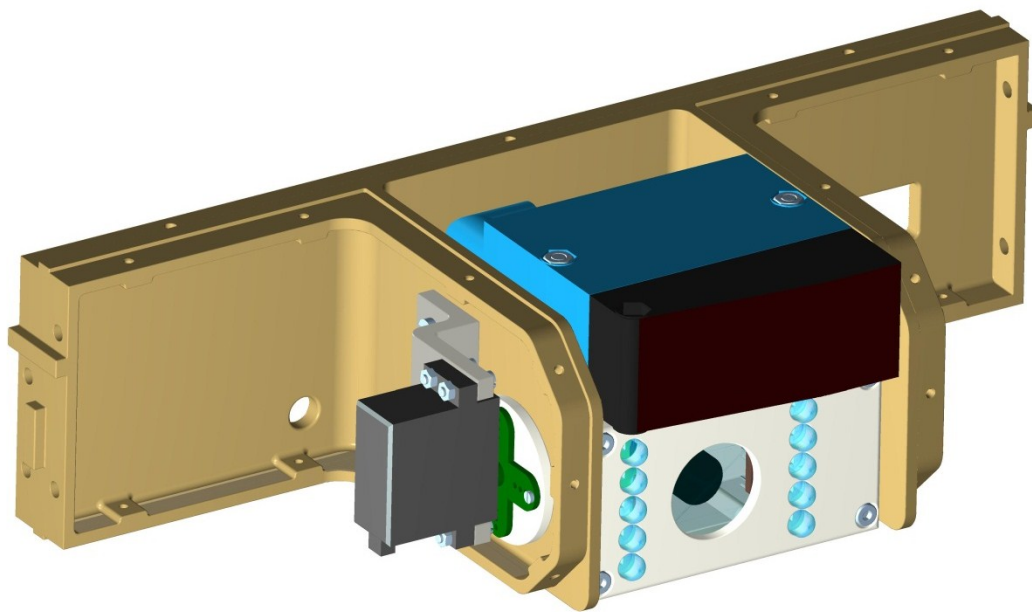
## 5.4 Návrh kamerového subsystému

Tato část práce byla realizována ve spolupráci s kolegou Bc. Janem Šeděnkou. Zde budou prezentovány pouze finální varianty řešení a použité komponenty.

### Požadavky na kamerový a senzorický subsystém

- a Minimálně 2 kamery (přední naklápěcí s vysokým rozlišením a citlivostí a druhá couvací). Případně může být navržena konstrukce kamery na zvedacím rameni z důvodu lepšího přehledu při jízdě.
- b Měření vzdálenosti označeného objektu - použití dálkoměru, který se bude naklápět spolu s přední kamerou.
- c Přísvit.
- d Maximální využití výroby pomocí Rapid Prototyping.

#### 5.4.1 Přední kamera



Obr. 47 - Přední kamerový subsystém

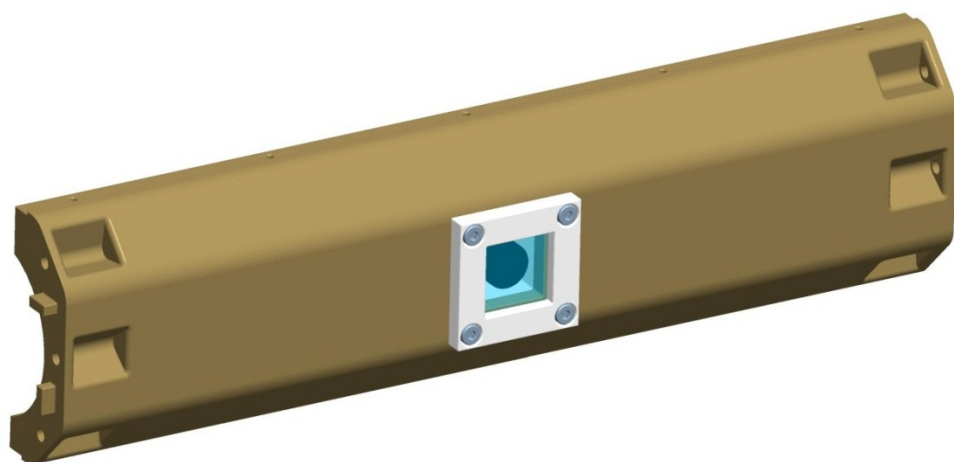
Kamerový subsystém je upevněn k rámu pomocí čepů. Rotační pohyb zajišťuje servomotor HS - 635HB přes čepy, které se otáčejí v kluzných pouzdrech Iglidur G společnosti Igus. Vložky jsou v rámu nalisovány. Nemusí se tedy zajišťovat jiným způsobem. Všechny komponenty sestavy jsou zhotoveny 3D tiskem.

Výsledné parametry subsystému (bez rámu)	
Hmotnost	0,61 kg
Délka	109 mm
Šířka	214 mm
Výška	98,5 mm

Tab. 50 - Parametry předního kamerového subsystému

#### 5.4.2 Zadní kamera

Pro pohyb robotu směrem dozadu byla navržena jednoduchá konstrukce zajišťující upevnění kamery k rámu robotu. Kamera je pomocí tvarových profilů zhotovených pomocí 3D tisku pevně spojena se zadním rámem robotu.



Obr. 48 - Zadní kamera

Výsledné parametry zadní kamery (bez rámu)	
Hmotnost	0,048 kg
Délka	46 mm
Šířka	41 mm
Výška	46 mm


Tab. 51 - Parametry zadní kamery



### 5.4.3 Komponenty použité v návrzích

#### Přední a zadní kamera MTV-54KOP

Kamera je barevná s vysokým rozlišením vhodná pro vnitřní aplikace. Disponuje dvounásobným digitálním zoomem a funkcí stranového převrácení obrazu. Její další parametry jsou uvedeny v tabulce 52.


Základní parametry kamery		
Obrazový prvek	CCD SONY 1,4"	
Video formát	PAL	
Rozlišení	470 TV řádků	
Gamma korekce	0,45	
Odstup signál/šum	> 48 dB	
Rozměry (d <sub>x</sub> š <sub>x</sub> v)	32 x 32 x 20 mm	
Napájení	12 V DC, 150 mA	

Tab. 52 - Základní parametry kamery MTV-54KOP

[23]

#### Dálkoměr SICK DT60

Tento laser pro analogové měření polohy s dlouhým dosahem je použit v předním subsystému robotu spolu s kamerou, který je možné naklápět.

Základní parametry dálkoměru		
Měřicí vzdálenost	200 ~ 5 300 mm	
Napájecí napětí	10 ~ 30 V DC	
Spotřeba energie	< 3 W	
Přesnost	± 13 mm	
Krytí	IP 67	
Rozměry (d <sub>x</sub> š <sub>x</sub> v)	104 x 87 x 38 mm	
Hmotnost	202 g	

Umístění dálkoměru spolu s přední kamerou


Tab. 53 - Základní parametry dálkoměru a jeho umístění na podvozku

[30]



### Servo pro naklápění přední kamery s dálkoměrem HS-635HB

Je to standartní modelářské servo s karbonitovými převody a zvýšeným krouticím momentem pro všestranné využití. Výstupní hřídel je uložena ve dvou kuličkových ložiscích.


Základní parametry serva		
Krouticí moment	0,5 Nm	
Rychlost otáčení	0,18 s/60°	
Rozměry (d <sub>x</sub> š <sub>x</sub> v)	40,6 x 19,8 x 37,8 mm	
Hmotnost	50 g	
Napájení	4,8 - 6,0 V	

Tab. 54 - Základní parametry servomotoru HS-635HB

[24]

### Videoserver AXIS M7001

Je to kvalitní a kompaktní jednokanálový enkodér. Umožňuje vysokou škálu nastavení obrazu, například jas, kontrast, rotaci obrazu, zrcadlové zobrazení, vkládání textu do obrazu atd.

Základní parametry videoseveru		
Rozlišení	720 x 576 pixelů	
Rychlost obnovování	25 fps	
Rozměry (d <sub>x</sub> š <sub>x</sub> v)	101 x 30,1 x 37,4 mm	
Hmotnost	80 g	
Napájení	48 V	

Tab. 55 - Základní parametry videoseveru AXIS M7001

[22]

## 5.5 Volba kol

Tyto kola byla zvolena za pomoci konzultace expertů přes modely RC aut. Kola byla dimenzována pro maximální hmotnost robotu 30 kg. Na základě těchto diskuzí a požadavků byly zvoleny kola s ocelovými disky Stock Beadlock Wheel 2.2 a gumami s nejvhodnějším vzorkem pro řízení smykem Spooky Krawler 2.2.



Obr. 49 - Gumy Spooky Krawler 2.2 a disky OEM Steel 2.2 Stock Beadlock Wheel

Parametry gumy		Parametry disku	
Vnější průměr	130 mm	Hmotnost	0,114 g
Vnitřní průměr	56 mm	Šířka	38 mm
Šířka	45 mm	Upevnění k rámu	Unášec, příruba

Tab. 56 - Parametry kol

[17]

## 5.6 Volba prvků přenosu signálu k operátorovi

Byla zvolena kombinace routeru a switche z důvodu malých rozměrů. Dosáhlo se tím snadnějšího umístění v malém prostoru podvozku.

### Wi-fi router

U volby těchto prvků byl výchozím požadavkem zejména rozměr a také VF výkon. Zvolen byl router ASUS WL-330GE, který je vzhledem k ostatním routerům velmi kompaktní a vysoce výkonný.

## Switch

Jako switch byl zvolen Netgear GS 105E. Obsahuje přepínač s technologií Green Ethernet, která šetří až 63% energie oproti switchům bez zeleného standartu. Je vybaven pěti LAN porty s rychlostí až 2 000 Mbit/s v oboustranném provozu.



Obr. 50 - Wi-fi router ASUS WL-330GE (vlevo) a switch Netgear GS 105E (vpravo)

Wi-fi router ASUS WL-330GE	
Standart	802.11b/g
Přenosová rychlost	až 125 Mbit/s
Frekvence	2,4 GHz
Rozměry	86 x 62 x 17 mm
Hmotnost	62 g
Switch Netgear GS 105E	
Porty LAN	5x RJ-45 10/100/1000 Mbit/s
Šířka pásma	10 Gbit/s
Spotřeba energie	Max. 4 W
Rozměry	28 x 104 x 94 mm
Hmotnost	300 g

Tab. 57 - Parametry prvků pro přenos signálu k operátorovi

## 5.7 Volba akumulátorů

### 5.7.1 Akumulátor pro pohony

#### Návrh akumulátoru

Pro pohony musí být vhodně zvolen akumulátor s napětím 24 V. V první fázi se určilo, jaký je maximální odběr pohonů. Poté se na základě doby provozu (1 hodina) dopočetla celková kapacita akumulátoru. Pro výpočet bylo zvoleno cca 35% z maximálního odběru motorů, protože se dá uvažovat o nestálém odběru tohoto maximálního proudu.

Komponent	Typ	Počet kusů	Napětí [V]	Spotřeba proudu [A]
Motor	GR 63Sx55	2	24	5,8
Brzda	E 90 R	2	24	0,31
Enkodér	RE 30-2-500	2	5	0,04
<b>Celkem</b>				<b>12,26</b>
Potřebná kapacita akumulátoru				~ 4,3 Ah

Tab. 58 - Návrh akumulátoru pro pohony

#### Volba akumulátoru

Na základě odběru proudu byla zvolena baterie Hyperion Generation 3 Lithium Polymer Pack, která je revoluční především v parametrech a ceně.

Hyperion G3 CX - 7S 5000 mAh (25C)	
Napětí	25,9 V
Kapacita	5 000 mAh
Uspořádání	7s
Maximální nabíjecí proud	5C
Vybíjecí proud	25C
Rozměry	142x46x72,5 mm
Hmotnost	864 g
Servisní konektor	HP/PG (Hyperion, PolyQuest)

Tab. 59 - Parametry akumulátoru pro pohony

### 5.7.2 Akumulátor pro elektroniku

#### Návrh akumulátoru

Byly zjištěny údaje o spotřebě proudu jednotlivých komponent a na základě doby provozu (1 hodina), určena kapacita akumulátoru.

Komponent	Typ	Počet kusů	Napětí [V]	Spotřeba proudu [A]	Příkon [W]
Budiče motorů	MD03	2	5	0,05	0,5
Wi-fi router	ASUS WL-330GE	1	5	1	5
Switch	Netgear GS 105E	1	12	0,4	4
Převodník	MiiNePort E1	1	3,3	0,16	0,6
Videograber	Axis M7001	1	48	0,35	15
Dálkoměr	Sick DT60 - P111B	1	12	0,05	3
Kamera	MTV - 54KOP	2	12	0,15	3,6
Řídicí desky	-	-	16	0,06	1
<b>Celkem</b>				<b>2,22</b>	<b>32,7</b>
Potřebná kapacita akumulátoru				~ 2,22 Ah	

Tab. 60 - Návrh akumulátoru pro elektroniku

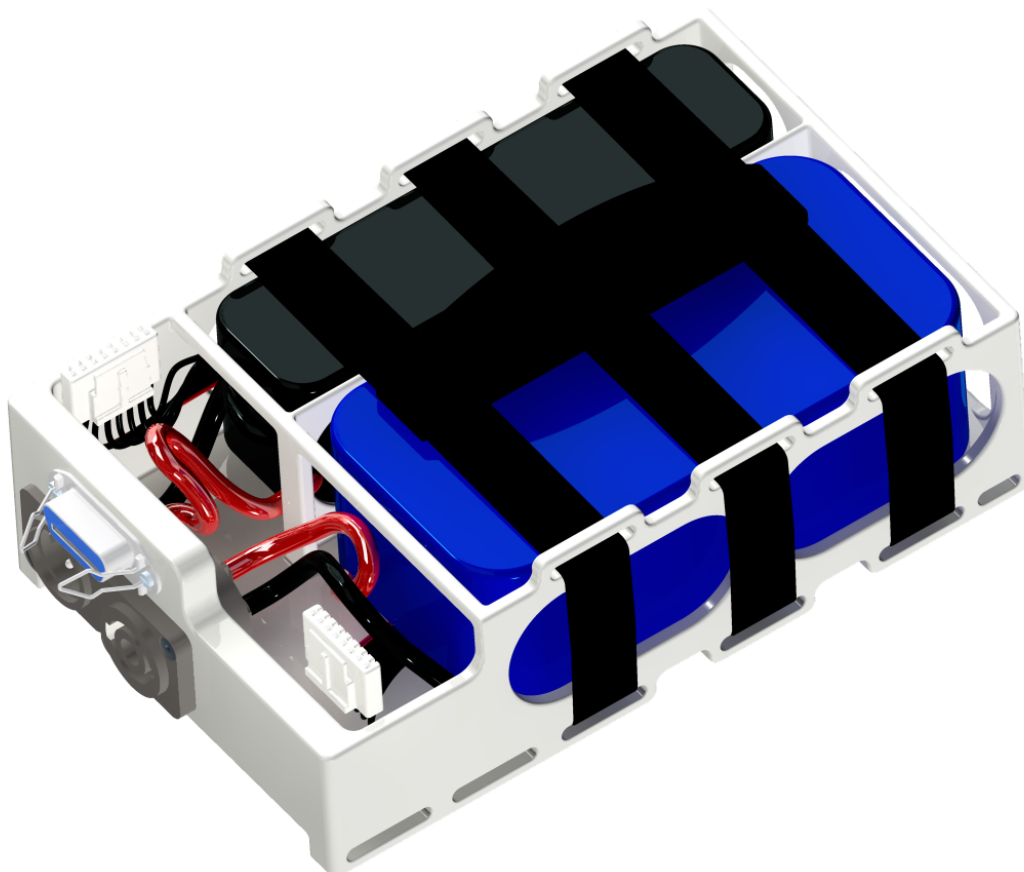
#### Volba akumulátoru

Byl zvolen lithiumpolymerový akumulátor Shark Power řady XP. Konkrétně typ PolyQuest 2500 XP s následujícími parametry.

PolyQuest 2500 xp 25/40C 22,2V 6S1P	
Napětí	22,2 V
Kapacita	2 500 mAh
Uspořádání	6s
Maximální vybíjecí proud	62 A
Vybíjecí proud	25C

Tab. 61 - Parametry akumulátoru pro elektroniku

Akumulátory byly zvoleny na základě požadovaných parametrů a zkušeností s těmito typy. Oba jsou umístěny v boxu pro rychlou výměnu, který je rovněž vybaven konektory pro přímé připojení nabíječky. Akumulátory jsou ke konstrukci držáku připevněny pomocí stahovacích pásek. Podvozek je navržen tak, aby se mohly v případě nějakých problémů navrhnout akumulátory s větší kapacitou a s většími rozměry.



*Obr. 51 - Konstrukce výměnného krytu baterií*

## **6 Montáž**

Vzhledem ke konstrukci z polykarbonátu je podvozek rozdělen na dva bloky, které byly k sobě přišroubovány pomocí dvou hlavních vzpěr. Tyto vzpěry spolu s nosnými příčkami použitých komponentů a krytováním tvoří veškerou tuhost podvozku. Z důvodu lepší přehlednosti je montážní postup umístěn a popsán v příloze I.

### **6.1 Příprava montáže**

#### **a Bloky**

Bloky z polykarbonátu nebylo možné vzhledem k pracovnímu prostoru systému FORTUS 360mc L vyrobit jako celky. Přistoupilo se tedy k možnosti tyto díly v nejvhodnějším místě rozdělit (obrázek 45 v kapitole 4.1) a slepit lepidlem Loctite 301. Toto lepidlo se v reálu ukázalo jako bezproblémové a vhodné řešení. Po slepení se na blocích dokončily veškeré potřebné závity a byly rovněž vyfrézovány díry pro víka o předepsané přesnosti.

#### **b Vzpěry**

Vzpěry byly rovněž zhotoveny z polykarbonátu. Na těchto dílech se pouze dořezávaly závity.

#### **c Napínací kladky**

Do dílů napínacích kladek se lisovaly ložiska. Tyto díly byly důkladně odmaštěny a ověřeny tolerance rozměrů pro bezpečnou montáž ložisek.

#### **d Hřídele a řemenice**

Do těchto dílů byly rovněž lisovány ložiska. Proběhla tedy také kontrola tolerancí rozměrů. Tyto tolerance byly navrženy tak, aby mohla proběhnout bezproblémová montáž s absencí lisu, který nahradily jednoduché, vhodně zkonstruované, přípravky.

Při kontrolách a přípravě dílů k montáži se nevyskytl žádný větší problém. Nastala však drobná úprava hřídelů, kdy se při výrobě zanedbal rádius tvarové drážky unášející přírubu pro uchycení kola. Tento nedostatek byl následně odstraněn.



## **6.2 Zhodnocení montáže**

### **Montáž podsestav**

Při montáži jednotlivých podsestav podvozku (podsestavy hřídelů, napínacích kladek) nevznikl žádný výrazný problém. Vzhledem k vhodně zvoleným tolerancím hřídelů a děr pro ložiska byla montáž realizovatelná bez použití lisu. V průběhu se objevily drobné nepřesnosti výroby dílů, které byly patřičně upraveny. Konkrétně se jednalo o opomenutí zaoblení u tvarových drážek hřídelů nesoucí přírubu kol a nepřesnosti při výrobě soustružených dílů napínacích kladek.

### **Montáž bloku**

Zde vznikl problém s osovou vzdáleností jednotlivých hřídelů nesoucí řemenový rozvod. Výrobce uváděl poměrně velkou instalační toleranci, která se vy výsledku musela vhodně odhadnout. Při montáži zadní podsestavy hřídele s řemenicemi a všemi potřebnými komponenty musela být použita větší síla k dopnutí řemene. Až na tuto problematiku proběhla celková montáž bloků (včetně pohonů) bez problémů.

### **Montáž sestavy podvozku mobilního robotu**

Při konečném skládání jednotlivých podsestav nevznikl žádný montážní problém. Všechny díly polykarbonátu se zámky do sebe zapadly a celek s krytováním ve výsledku dosahoval překvapivě dobré tuhosti.

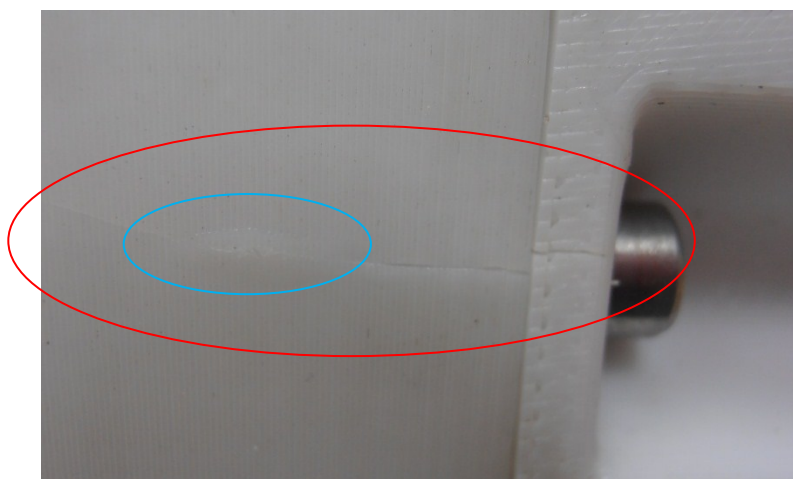
### **Praskliny hlavních podvozkových bloků**

Po montáži hlavních bloků podvozku se začaly objevovat praskliny. Nejdříve ve druhém bloku (dle pořadí výroby), který se vyráběl s časovou prodlevou dvou týdnů od kompletace prvního bloku. Původně se to dávalo za vinu vadnému tisku bloku, který se musel opakovat. Důvodem byla chyba při tisku, kdy systém přestal dodávat podpůrný materiál. Toto tvrzení se z části vyvrátilo při objevování prasklin i na prvním bloku, nicméně jich bylo znatelně méně. Převážná většina trhlin se objevila v místech závitů.

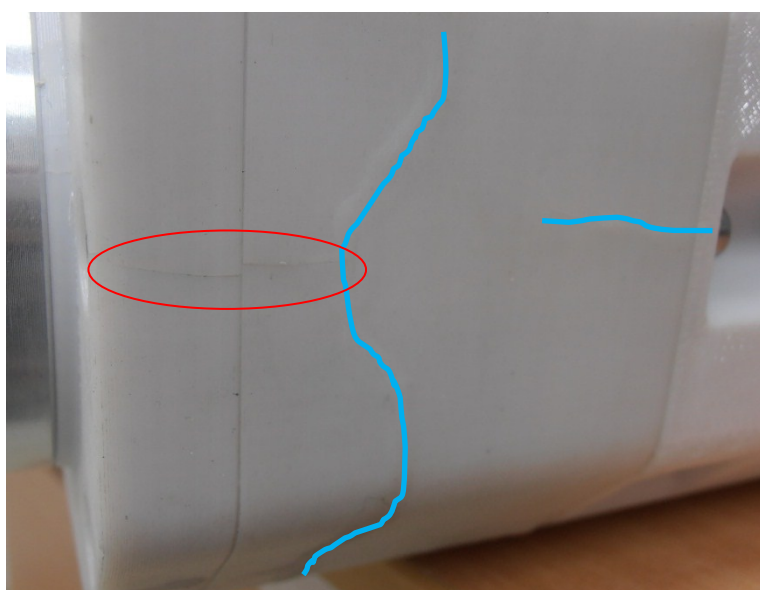
Při budoucí aplikaci polykarbonátu pro podobné zatížení by měly být v závitech použity závitové vložky, které tlak v závitech značně sníží. Příklady některých trhlin jsou uvedeny na následující stránce.

*Obr. 52 - Praskliny*

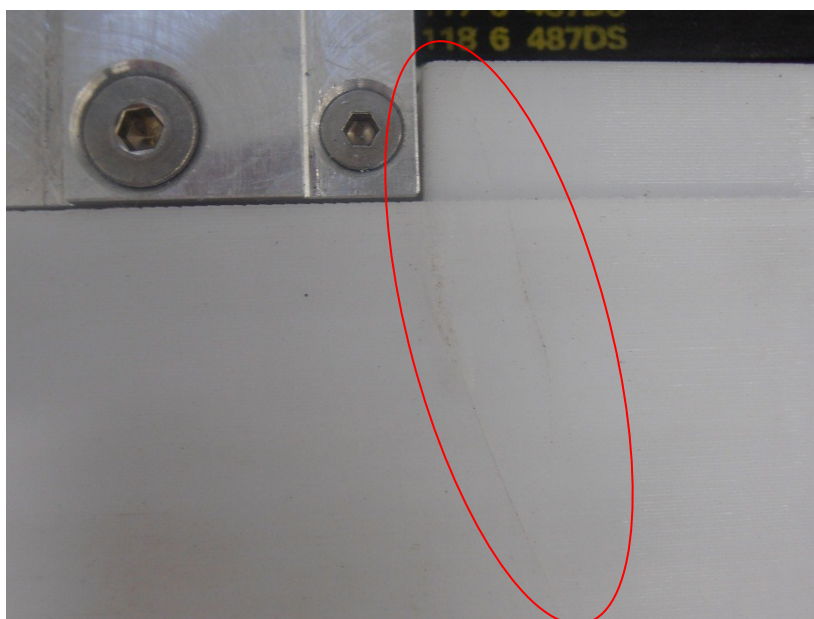
Trhliny se vyskytují v zadní části bloku. Vyskytly se po obou stranách bloku v místech závitů.

*Obr. 53 - Praskliny*

Stejný blok jako v předchozím obrázku. V modré značce je kousek praskliny zalitý Loctitem. Tloušťka materiálu v místě kontaktu šroubu s blokem je 4 mm.

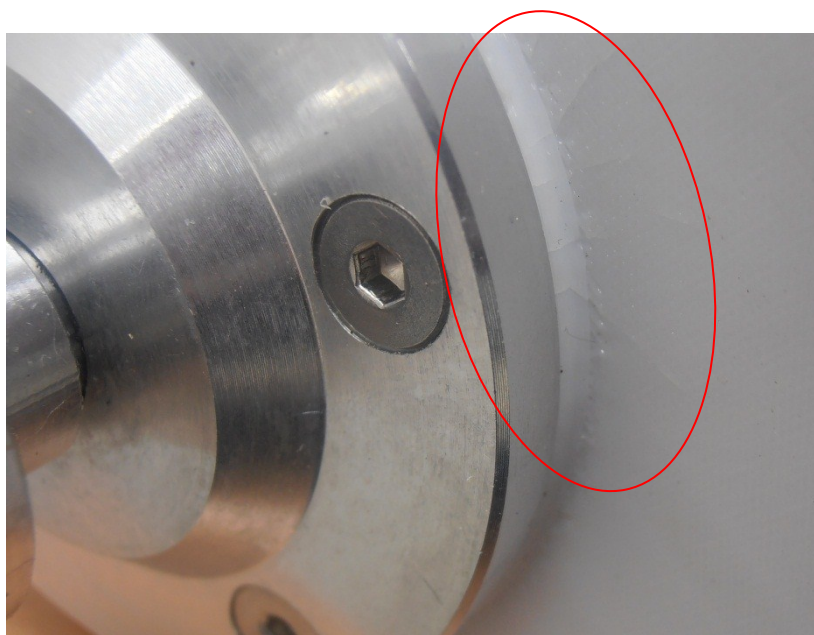
*Obr. 54 - Praskliny*

Zadní část stejného bloku s dosud největšími prasklinami již zalitými Loctitem (jsou naznačena modrou křivkou). V místě praskliny je materiál poměrně hodně vyztužen



Praskliny u  
uchycení horní hliníkové  
vzpěry.

*Obr. 55 - Praskliny*



Praskliny od  
uchycení vík se objevily  
ve více místech.

*Obr. 56 - Praskliny*

Většina prasklin se tedy objevila v místech závitů. Dále pak v místech namáhaných a v místech poměrně vyztužených. Došlo se tedy k závěru, že materiál není vhodný pro tuto staticky i dynamicky namáhanou konstrukci.

### Vyztužení kol

Jelikož nebyla volba kol ve výsledku optimální, muselo se přejít k vyztužení vnitřního prostoru kola, které bylo poměrně měkké. Je uvedeno několik způsobů vyplnění kol, které byly v průběhu montáže aplikovány.

#### Nedestruktivní zkoušky

- a Vyplnění kol větším množstvím molitanu
  - Výsledkem bylo velmi nesouměrně otáčející se kolo, které bylo pro aktuální aplikaci nevhodné
- b Vyplnění kol mezikružím z polystyrénu
  - Docházelo k drcení polystyrenu
- c Vyplnění kol plastovými kuličkami
  - Kolo mělo nedostatečnou tuhost
- d Použití duše z kočárku
  - Kolo mělo dostatečnou radiální tuhost, ale dofouknutím gumy se zvětšily jeho rozměry a z důvodu použití většího průměru duše vznikaly na kole menší nerovnosti. Axiální tuhost však byla nevhodná.

#### Destruktivní zkoušky

- a Vyplnění kol laminátem (pryskyřice + tvrdidlo)
  - Velký nárůst hmotnosti kola a pracná realizace
- b Vyplnění kol flexibilní montážní pěnou
  - Jednoduchá realizace a výsledek je pro aktuální aplikaci kol optimální.



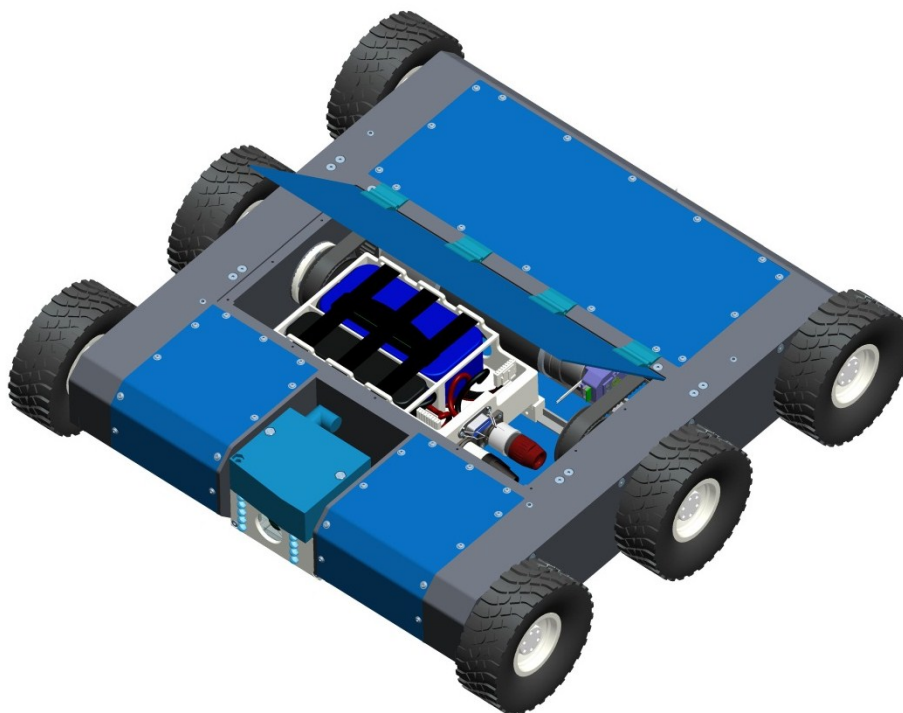
*Obr. 57 - Kola vyplněné montážní pěnou - finální řešení*

## 7 Alternativní řešení podvozku z hliníku

Po zjištění výskytu prasklin na konstrukci z polykarbonátu byla navržena varianta rámu ze slitiny hliníku.

### Popis konstrukce

Bylo cílem vytvořit konstrukci, která ponese všechny komponenty podvozku z polykarbonátu. Rám je navržen primárně jako rozebíratelný, kdy se podobně jako u rámu z polykarbonátu přední a zadní vzpěra přitahuje šrouby k blokům. Pro zvýšení tuhosti by se mohlo použít, jako kombinace se šroubováním, nějaké dvousložkové lepidlo. Konkrétně třeba Bison Epoxy Metal, které je vhodné do extrémních podmínek (výkyvy počasí, vibrace), nebo dvousložková lepidla německé společnosti Weiss (nemá u nás zastoupení), které je v současnosti jedno z nejkvalitnějších lepidel, kdy se jeho použitím prakticky vytvoří nerozebíratelný spoj. S jednoduchými úpravami je možné šroubovanou konstrukci předělat na svařovanou, ale v současnosti s použitím již zmíněných lepidel by to bylo zbytečné. Z důvodu jednoduchosti montáže byly bloky navrženy jako frézované profily z polotovarů obdélníkových tyčí. Důvodem byla možnost vyfrézování požadovaných prvků v rámu dle účelu konstrukce a odpadlo tím různé navařování při použití jiných profilů (například profily U, I, L). Nevýhodou by byl vyšší odběr materiálu, a s tím vzpjata délka, cena a náročnost výroby.



Obr. 58 - Alternativní varianta z hliníku

## 8 Cenová kalkulace

### 8.1 Kalkulace dílů elektroniky

Položka „Veškeré prvky řízení“ v tabulce 62 zahrnuje všechny potřebné prvky pro řízení robotu (ovladač, řídicí desky, konektory, kabeláž apod.)

Komponent	Typ	Ks	Cena jednoho kusu (s DPH) [Kč]	Cena celkem (s DPH) [Kč]
Akumulátor pro pohony	Hyperion G3 CX - 7S 5000 mAh (25C)	1	3 799	3 799
Akumulátor pro elektroniku	PolyQuest 2500XP 25/40C 22,2V 6S1P	1	2 891	2 891
Nabíječka	Grauoner ULTRAMAT 18	1	4 231	4 231
Budiče motorů	MD03	2	2 605	5 210
Wi-fi router	ASUS WL-330GE	1	1 170	1 170
Switch	Netgear GS105E	1	1 035	1 035
Video enkodér	AXIS M7001	1	6 396	6 396
Kamera	MTV-54K0P	2	3 516	7 032
Dálkoměr	SICK DT-P111B	1	14 154	14 154
Veškeré prvky řízení	-	-	-	8 000
<b>Celkem</b>				<b>53 918</b>

Tab. 62 - Cenová kalkulace dílů elektroniky

### 8.2 Pohonné jednotky

Na pohonné jednotky byla poskytnuta sleva 30% z důvodu použití pro akademické účely.

Komponent	Typ	Ks	Cena jednoho kusu bez DPH [Kč]	Cena celkem bez DPH [Kč]
Motor	GR 63Sx55	2	8 925	17 850
Převodovka	PLG 63	2	5 501	11 002
Brzda	ASTO E 90R	2	3 886	7 772
Enkodér	RE 30-2-500	2	2 847	5 694
Celkem bez DPH				42 318
Celkem včetně DPH (20%)				50 782
<b>Celkem včetně DPH po slevě 35%</b>				<b>35 548</b>

Tab. 63 - Cenová kalkulace pohonných jednotek

### 8.3 Vyráběné díly

V celkových cenách jednotlivých dílů jsou zahrnuty ceny polotovarů, ceny obrábění a ceny případné dopravy.

Díly zhotovené 3D tiskem			
Díl	Ks	Cena jednoho kusu [Kč]	Cena celkem [Kč]
<b>Díly rámu</b>			
Vnitřní blok větší díl - pravá část	1	12 312	12 312
Vnitřní blok větší díl - levá část	1	12 264	12 264
Vnitřní blok menší díl - pravá část	1	4 144	4 144
Vnitřní blok menší díl - levá část	1	4 074	4 074
Vnější blok větší díl - pravá část	1	4 052	4 052
Vnější blok větší díl - levá část	1	3 926	3 926
Vnější blok menší díl - pravá část	1	1 365	1 365
Vnější blok menší díl - levá část	1	1 329	1 329
Přední vzpěra	1	12 813	12 813
Zadní vzpěra	1	5 200	5 200
<b>Díly přední kamery</b>			
Držák servopohonu	1	879	879
Přední kryt přední kamery	1	1 374	1 374
Zadní kryt přední kamery	1	1 571	1 571
Dutý čep přední kamery	1	252	252
Plný čep přední kamery	1	373	373
Držák sklička přední kamery	2	41	82
<b>Díly zadní kamery</b>			
Kryt zadní kamery	1	235	235
Držák zadní kamery	1	424	424
<b>Ostatní díly</b>			
Krytka vratových šroubů	2	125	250
Podpěry boxu s akumulátory	4	346	1 384
Podpěry pohonných jednotek	2	210	420
Box pro akumulátory	1	6 091	6 091
<b>Celkem</b>			<b>74 814</b>

Tab. 64 - Cenová kalkulace dílů vyráběné 3D tiskem



Ostatní vyráběné díly			
Díl	Ks	Cena jednoho kusu (s DPH) [Kč]	Cena celkem (s DPH)[Kč]
<b>Díly napínacích kladek</b>			
Deska	4	400	1 600
Držák	4	400	1 600
Kladka	4	280	1 120
Čep - kladka	4	130	520
Čep - držák	4	130	520
Střední kroužek	4	16	64
Krajní kroužek	8	10	80
<b>Díly rámu</b>			
Horní vzpěra	1	360	360
Podpěry boxů s akumulátory	2	40	80
Podpěry pohonných jednotek	2	340	680
<b>Díly řemenového rozvodu a jeho komponent</b>			
Řemenice pohon	2	953	1 906
Řemenice vstup	2	953	1 906
Řemenice rozvod	8	953	7 624
Hřídel přední	2	325	650
Hřídel zadní	2	325	650
Hřídel prostřední	2	325	650
Víka vnější	6	330	1 980
Víka vnitřní neprůchozí	4	330	1 320
Víka vnitřní průchozí	2	330	660
Vymezovací kroužky	6	18	108
Unášeče kol	6	400	2 400
<b>Krytování</b>			
Přední kryty	2	76	152
Horní otevírací kryt	1	92	92
Horní pevný kryt	1	80	80
Spodní kryt	1	116	116
<b>Ostatní díly</b>			
Držák pravé pohonné jednotky	1	600	600
Držák levé pohonné jednotky	1	600	600
Závitové desky	2	600	1 200
Napínací bloky pro pohonné jednotky	2	200	400
Skříčka pro kryty kamer	2	100	200
<b>Celkem</b>			<b>29 918</b>

Tab. 65 - Cenová kalkulace ostatních vyráběných komponentů

**8.4 Montážní materiál**

Komponent	Norma	Ks	Cena jednoho kusu (bez DPH) [Kč]	Cena celkem (bez DPH) [Kč]
Šroub M2x6	DIN 84A/A2	10	0,27	2,7
Šroub M3x6	AN 9084/A2	80	0,372	29,76
Šroub M3x8	AN 9084/A2	10	0,386	3,86
Šroub M4x20	AN 9084/A2	34	1,127	45,08
Šroub M4x10	AN 9084/A2	8	0,755	6,04
Vratový šroub M5x20	DIN 603/A2	8	1,784	14,272
Stavěcí šroub M4x6	DIN 914/A2	6	0,544	3,262
Stavěcí šroub M6x16	DIN 915/A2	4	1,088	4,352
Šroub M3x14	DIN 7991/A2	2	0,456	0,912
Šroub M4x10	DIN 7991/A2	60	0,586	35,16
Šroub M4x14	DIN 7991/A2	2	0,617	1,234
Šroub M5x16	DIN 7991/A2	8	0,853	6,824
Šroub M3x16	DIN 912/A4	46	0,764	35,144
Šroub M5x10	DIN 912/A4	8	1,563	12,504
Šroub M5x12	DIN 912/A4	12	1,666	19,992
Šroub M5x35	DIN 912/A4	2	2,793	5,586
Šroub M5x45	DIN 931/A4	2	4,07	8,14
Matice M3	DIN 934/A2	6	0,262	1,572
Matice M5	DIN 934/A2	2	0,482	0,964
Pojistná matice M3	DIN 985/A2	4	0,363	1,452
Pojistná matice M5	DIN 985/A2	8	0,475	3,8
Podložka vyklenutá 4	DIN 137B/A1	8	0,206	1,648
Podložka vyklenutá 5	DIN 137B/A1	4	0,245	0,98
Třmenový kroužek 2.3	DIN 6799/1.4122	4	0,578	2,312
Třmenový kroužek 3.2	DIN 6799/1.4122	4	0,715	2,86
<b>Celkem bez DPH</b>				<b>250,41</b>
<b>Celkem s DPH (20%)</b>				<b>300</b>

Tab. 66 - Cenová kalkulace montážního materiálu

## 8.5 Ostatní nakupované komponenty

Komponent	Typ	Ks	Cena jednoho kusu (s DPH) [Kč]	Cena celkem (s DPH) [Kč]
Řemen rozvodu	PG GT3 600 5MGT 15	4	401,4	1 605,6
Řemen pohonu - kratší	PG GT3 450 5MGT 15	1	311,4	311,4
Řemen pohonu - delší	PG GT3 340 5MGT 15	1	253,8	253,8
Kluzná pouzdra Iglidur	GFM-0405-03	8	Zdarma	Zdarma
Kluzná pouzdra Iglidur	GFM-2023-07	2	Zdarma	Zdarma
Plastové závěsy	30x34 Plastic Hinge	4	Zdarma	Zdarma
Zaklápěcí Unizip	25mm x 3m	1	522	522
Lepidlo	Loctite 301	2	74,90	150
<b>Celkem</b>				<b>2 842</b>

Tab. 67 - Cenová kalkulace dalších nakupovaných komponentů

## 8.6 Celková cenová kalkulace

Položka	Cena (s DPH) [Kč]
Díly elektroniky	53 918
Pohonné jednotky	35 548
Vyráběné díly 3D tisk	74 814
Ostatní vyráběné díly	29 918
Montážní materiál	300
Ostatní nakupované komponenty	2 842
<b>Celkem</b>	<b>197 340</b>

Tab. 68 - Celková cenová kalkulace

V celkové ceně nejsou zahrnuty mzdové prostředky na konstrukční práce, vývoj a výrobu elektroniky a softwaru.

## 9 Výstupní parametry návrhu podvozku

Maximální rozměry podvozku	
Délka	552 mm
Šířka	560 mm
Výška (průměr kola)	130 mm
Rozměry rámu	
Délka	510 mm
Šířka	460 mm
Výška	90 mm
Ostatní parametry	
Rozvor	421 mm
Rozchod	515 mm
Hmotnost	21 kg
Nosnost	10 kg

Tab. 69 - Výsledné rozměrové a hmotnostní parametry

Výkon pohonné jednotky	130 W
Napájecí napětí jednotky	24 V
Nominální otáčky na výstupu z převodovky	400 min <sup>-1</sup>
Maximální rychlost	10 km/hod
Dosah dálkoměru	200 ~ 5 300 mm
Kapacita akumulátoru pro pohonné jednotky	5 Ah
Výdrž akumulátoru	1 hodina

Tab. 70 - Výsledné výkonnostní parametry podvozku

Výdrž akumulátoru odpovídá požadavku. Hodnota je však pouze orientační, protože není brána v úvahu členitost terénu, způsob jízdy apod. Tyto elementy mohou být rozhodující pro zkrácení či prodloužení předpokládané doby provozu.

## 10 Závěr

V práci je popsán konstrukční návrh a realizace mobilního robotu pro monitoring.

V úvodní části byla provedena analýza týkající se mobilních robotů používaných bezpečnostními složkami a světlych výšek různých vozidel. Na jejím základě byly stanoveny požadavky na podvozek mobilního robotu, kamerový subsystém a stanoviště operátora.

V další kapitole byly popsány navržené varianty řešení. Konkrétně to byly tři varianty šestikolového podvozku a dvě osmikolového. Tyto návrhy byly podrobeny analýze, kde se porovnávaly hmotnostní a rozměrové parametry, výhody, nevýhody a souřadnice těžiště. Varianty byly systematicky posouzeny a pro vlastní realizaci byla vybrána ta, která nejlépe splňovala stanovené hodnotící kritéria.

Na základě požadavkového listu, zjištění prvotních nákladů a doby dodání rámu z hliníku bylo rozhodnuto, že se podvozek vyrobí z polykarbonátu. Hlavními důvody byla rychlost realizace výroby a otestování materiálu pro 3D tisk v této náročnější aplikaci. V další části práce byly postupně dimenzovány a navrhovány pohonné jednotky, řemenové rozvody, ložiska, svěrná a kluzná pouzdra, a další konstrukční prvky podvozku. Pohony byly navrženy pro čtyři různé situace, kdy vstupními parametry byly nejnepříznivější podmínky, čemuž odpovídal rozjezd robotu do svahu (30°) pro krouticí moment a výkon, a rovnoměrný pohyb po rovině pro rychlost. Pohonné jednotky byly vzhledem ke smykem řízenému podvozku předimenzovány o cca 20%. Rám z polykarbonátu byl navrhován a postupně vyztužován na základě pevnostních analýz vytvořených v systému Pro/Engineer. Návrhy jednotlivých komponentů byly realizovány za pomoci ručních výpočtů, pevnostních analýz v systému Pro/E, speciálních softwarů výrobců (návrh řemenového rozvodu softwarem Design Flex) a softwaru Mitcalc. Volba akumulátorů byla vztažena na spotřebu jednotlivých komponentů elektroniky a pohonných jednotek. Dle požadavkového listu jsou umístěny v boxu z polykarbonátu pro rychlou výměnu, která se realizuje skrz otevírací kryt v horní části krytování. Volba ostatních komponentů (video enkodér, budiče motorů, kamery, servo pro naklápění přední kamery) byla provedena na základě konzultací a dřívějších zkušeností s těmito typy.

Další část práce popisuje montážní postup včetně podrobných schémat znázorňujících rozložené sestavy jednotlivých montovaných celků.

Dále je uvedena podrobná cenová studie všech vyráběných i nakupovaných dílů mobilního robotu a vyhodnocení celkové náklady.

Práce je doložena výkresovou dokumentací, pevnostními analýzami, návrhy konstrukčních prvků pomocí software Design Flex a MITCalc, a funkčním výpočtem pohonů v softwaru Excel.

### **Zhodnocení dosažených výsledků**

Při návrhu a realizaci podvozku vyvstaly následující problémy. Prvním byl návrh pohonů, kdy se musel brát zřetel na smykem řízený podvozek. Jelikož je kinematický model tohoto lokomočního ústrojí poměrně složitý, bylo to impulsem pro zadání diplomové práce kolegy Bc. Jana Šeděňky, který tuto problematiku řešil. Jeho práce se zabývá simulací podvozku mobilního robotu s využitím simulačního systému ADAMS v kombinaci s Pro/E a Mathcadem. Ve výsledku se ukázalo předimenzování pohonných jednotek jako optimální.

Dalším problémem byla volba kol. Nedařilo se najít kola vhodných parametrů, které by vyhovovaly všem požadavkům. Konečným řešením byly RC kola s poměrně měkkou výplní, která se musela řešit aplikacemi různých materiálů a možnostmi vytvrzení. Konečným řešením byla PU pěna, která vnitřní prostor dostatečně vyztužila.

Největším problémem jsou praskliny, které průběžně vznikaly od statického namáhání konstrukce rámu. Nejvíce jich vzniklo od silového působení v závitech. Pro další návrhy součástí vyráběné 3D tiskem doporučuji použití ocelových závitových vložek. Další praskliny vznikly v různých místech rámu a jejich výskyt lze označit za náhodný, bez zjevné souvislosti s namáháním daných součástí. Na základě této zkušenosti byla vypracována varianta podvozku z hliníku.

Diplomová práce byla řešena a podpořena v rámci projektu studentské grantové soutěže fakulty strojní VŠB - TUO v roce 2011 (Průzkumný mobilní robot pro složky IZS - SP2011/54).

## 11 Reference

### 11.1 Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra - pedagogické nakladatelství, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. 95 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [4] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.

### 11.2 Internetové zdroje

- [5] Servisní roboty dobývají svět. *Automa* [online]. 1. 5. 2010 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=41046](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41046)
- [6] Our Products. *Robotics Group Inc The Home Of The Easy To Use Wireless Robots & Controllers* [online]. © 2011 [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <http://www.roboticsgroup.com/products.asp?cat=31>
- [7] Wifibot products. *Fabriquant de robot wifi / Wifi Robot Manufacturer* [online]. © 2003 [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <http://www.wifibot.com/wifibot-product-list.html>
- [8] Surveillance Robots. *EMT Robotics - Surveillance Robots* [online]. © 2011 [cit. 2012-03-07]. Dostupné z: <http://www.evolutionmodeltechnology.ca/survey.html>
- [9] Ground Robots. *Government & Industrial Robots* [online]. ©2012 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.irobot.com/gi/ground/>
- [10] Recon Scout and Operator Control Uni. *Recon Robotics* [online]. ©2012 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.reconrobotics.com/products/index.cfm>
- [11] Unmanned Systems. *QinetiQ - North America* [online]. ©2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/>
- [12] Products. *ROBHAZ Series Robots* [online]. ©2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://robhaz.com/default\\_eng.asp](http://robhaz.com/default_eng.asp)
- [13] Products. *TRANSTECNO: Gearmotors, Gearboxes, DC and AC electric motors* [online]. ©2010 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.transtecno.com/products/>
- [14] Products - Dunkermotoren. *Dunkermotoren* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?id=69&lang=2>
- [15] Pohony ozubenými řemeny. *Haberkorn Ulmer - řemeny, řetězy, hliníkové profily, dopravníky* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/pohony-ozubenymi-remeny/>



- [16] Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. *Ložiska a ložiskové jednotky - SKF.cz* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: [http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=259690&lang=cs](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=259690&lang=cs)
- [17] Products. *RC4WD - The Ultimate RC Products* [online]. © 2004-2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: [https://store.rc4wd.com/Officially-Licensed-Products\\_c\\_40.html](https://store.rc4wd.com/Officially-Licensed-Products_c_40.html)
- [18] Sít'ové prvky. *ALFA.cz* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.alfacomp.cz/php/index.php?eid=15L145087>
- [19] Hyperion G3 CX - 7S 5000mAh (25C). *RC modely na dálkové ovládání od kvalitních světových výrobců.* [online]. © 2008 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.bestbuymodel.com/detail.asp?idzbozi=120102000037>
- [20] PolyQuest 2500XP 25/40C 11.1V 3S1P. *RC modely - modely na dálkové ovládání* [online]. © 2009-2012 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: <http://www.rcguru.cz/7ba0555-polyquest-2500xp-25-40c-11-1v-3s1p-d3896>
- [21] MD03. *Snail Instruments* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: [http://shop.snailinstruments.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=248](http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&products_id=248)
- [22] AXIS M7001 webový videosever. Bezpečnostní kamery a kamerové systémy [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.escastrate.cz/axis-m7001-webovy-videosever-pro-1-kameru-h-264-poe.html>
- [23] MTV-54K0P barevná desková CCD kamera s vysokým rozlišením. *Bezpečnostní kamery a kamerové systémy*[online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.escastrate.cz/mtv-54k0p-barevna-deskova-kamera-s-vysokym-rozlisenim.html>
- [24] Modelařina.cz, RC modely. *Standardní servo Hitec HS-635 HB* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.modelarina.cz/standardni-servo-hitec-hs635-hb-karbonite-gear-p-1599.html>

### 11.3 Katalogy

- [25] *Teatechnik.cz* [online]. c2007 [cit. 2011-07-04]. Svěrné pouzdra TLK 350. Dostupné z WWW: <<http://www.teatechnik.cz/tlk-350/>>.
- [26] Kartáč. DC motory řady GR/G. *Dunkermotoren* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?id=9&mid=152&lang=8>
- [27] Převodovky řady PLG/SG. *Dunkermotoren* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?id=13&gid=20&lang=8>
- [28] Brzdy. *Dunkermotoren* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?id=14&bid=3&lang=8>
- [29] Snímače otáček. *Dunkermotoren* [online]. ©2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://dunkermotoren.com/default.asp?id=16&sid=7&lang=8>
- [30] SICK DT60. SICK - Documentation [online]. 15. 4. 2004, 22. 10. 2009 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.audin.fr/pdf/documentations/sick/mesure-et-vision/capteurs-de-mesure-de-distance/DT60-Fast.pdf>

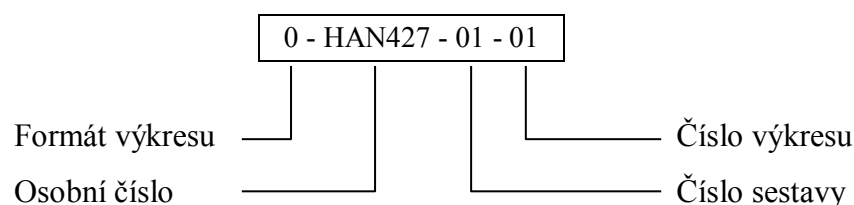
## 12 Přílohy

### 12.1 Dokumentace

<b>Příloha A</b>	Výkresová dokumentace - soupis všech položek
<b>Příloha B</b>	Design Flex - návrh řemenových převodů <ul style="list-style-type: none"> <li>• Převod = Motor pravého bloku robotu - Pohon</li> <li>• Převod = Motor levého bloku robotu - Pohon</li> <li>• Převod = Hnaná hřídel - Hnací hřídele</li> </ul>
<b>Příloha C</b>	Návrh šroubů držáku pohonných jednotek
<b>Příloha D</b>	MITCalc <ul style="list-style-type: none"> <li>• Návrh ložisek napínacích kladek</li> <li>• Návrh ložisek řemenových převodů</li> <li>• Kontrola čepů napínací kladky</li> <li>• Kontrola hřídelů řemenových převodů (přední, prostřední, zadní)</li> </ul>
<b>Příloha E</b>	Excel - funkční výpočet vstupních parametrů pohonu
<b>Příloha F</b>	3D model finální varianty a fotky z realizace
<b>Příloha G</b>	Pevnostní analýzy rámu
<b>Příloha H</b>	Pevnostní analýzy komponentů
<b>Příloha I</b>	Montážní postup
<b>Příloha J</b>	Popis řídicího systému a aplikace
<b>Příloha K</b>	Katalogové listy

### 12.2 Výkresová dokumentace

#### Legenda k číselnému značení výkresů



Na následující straně jsou uvedeny výkresy, které jsou přidány v přílohách diplomové práce. Hierarchie všech výkresů je uvedena v příloze A.

**Hlavní sestavný výkres**

- 0 - HAN427 - 01

Výrobní výkresy**Víko**

- 4 - HAN427 - 01 - 09

**Hřídel**

- 4 - HAN427 - 01 - 05

**Sestavný výkres rámu**

- 1 - HAN427 - 02

**Sestavný výkres pohonné jednotky**

- 3 - HAN427 - 03

**Sestavný výkres napínací kladky**

- 3 - HAN427 - 04

Výrobní výkresy**Deska**

- 4 - HAN427 - 04 - 01

**Držák**

- 3 - HAN427 - 04 - 02

**Sestavný výkres přední kamery**

- 1 - HAN427 - 05

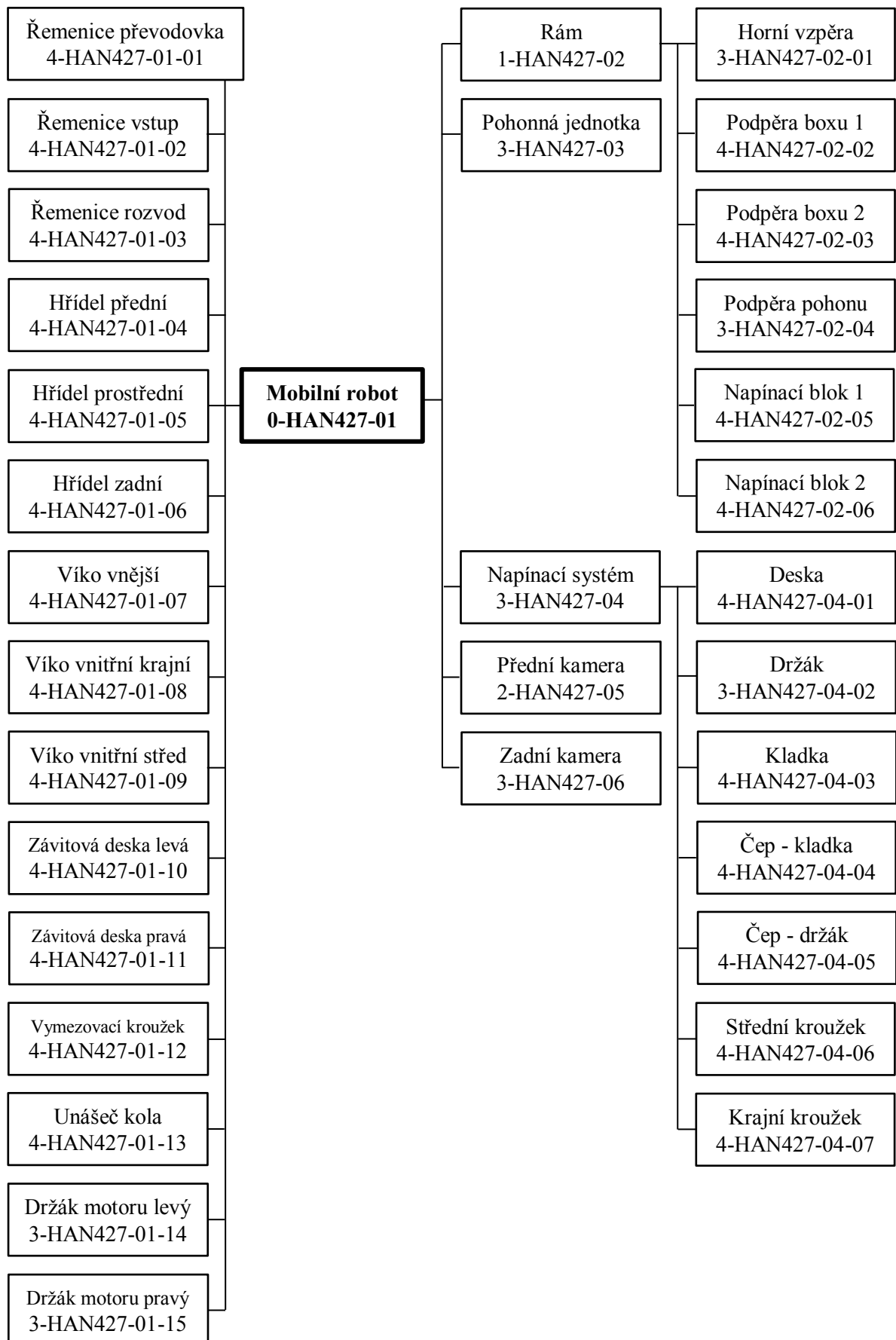
Na sestavných výkresech přední kamery a napínací kladky je prezentováno vytváření výkresové dokumentace v systému Pro/Engineer Wildfire 5.0.

**12.3 Příložený disk**

- Diplomová práce v elektronické podobě (formát \*.pdf)
- Výkresová dokumentace (AutoCAD 2006, 2009 a \*.pdf)
- 3D model finální varianty mobilního robotu
- 3D model alternativní varianty z hliníku
- Fotodokumentace z montáže
- Katalogové listy (formát \*.pdf)
- Výstupní soubory MITCalcu (\*.xlsx)
- Funkční výpočet pohonu (\*.xlsx)

## 13 Přílohy - dokumentace

### Příloha A Kompletní soupis výkresové dokumentace - Hierarchie



## Příloha B Návrh řemenového převodu

Převod = Motor pravého bloku robotu - Pohon



## Návrh řemenového převodu - Detaily pohonu

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

<b>Navrženo pro:</b>		<b>Zajišťuje:</b> David Hanzlík VSB Ostrava Strahovice Strahovice, Moravskoslezský kraj 747 24 Česká republika David.Hanzlik@email.cz 000000000 Telefon	
Aplikace: <b>Mobilní robot</b>			
<b>VSTUP</b>			
<b>Info. o pohonu</b>			
Poměr otáček:	1,00 Do rychla	Motor: 3500,0	Převodovka: 7,00
Výkon motoru:	1,58 N-m	Převodovka: 11,06 N-m	Maximální obvodová rychlost:
Provozní faktor:	1,6		
Konstr. výkon:	17,70 N-m	Kontrolovaná pouzdra:	Žádná
Středová vzdálenost:	75 mm +/-7%	Kontrolované řemeny:	PowerGrip GT3
		<b>Hnací</b>	<b>Hnaný</b>
		500,0	500,0 +/-5%
		2,5 m/s	2,5 m/s
			Electric Motor
<b>ZVOLENÝ POHON</b>			
Typ řemene:	<b>PowerGrip GT3 - 5M</b>	<b>Řemen</b>	<b>Hnací</b>
		330-5MGT3-15	36-5MR-15
Poměr otáček:	<b>1,0</b>	Díl č.:	<b>Hnaný</b>
Rychlost hnaná:	<b>500,0</b>	Produkt č.:	36-5MR-15
Nominální výkon:	<b>19,46 N-m</b>	Horní šířka:	30,00 mm
Na hřídel:	<b>496 N</b>	Hmotnost:	20 g
Středová vzdálenost:	<b>75,00 mm</b>	Obv. rychl. m/s:	1,5 m/s
Instalační tolerance:	<b>54,93 mm až 75,76 mm</b>	Otáčky za minutu:	272,7
		Pouzdro položka č.:	--
		Díra:	9 mm - 28,6 mm
		Roztečný průměr:	57,30 mm
<b>NAPĚTÍ</b>			
Průhyb na drážku/žebro:	<b>Nový řemen</b>	<b>Použitý řemen</b>	
Síla v průhybu na drážku/žebro:	1,50 mm	1,50 mm	
	22 až 24 N	16 až 18 N	
Sonic - měnič napětí			Pokud plánujete demontáž použitých řemenů,
Frekvence řemene:	411 až 432 Hz	344 až 368 Hz	změřte a zaznamenejte napětí před demontáží a
Nastavení Sonicu:	Hmotnost: 4,1 g/m, Šířka: 15 mm/#R, Rozpětí: 75 mm		napněte řemen na původní napětí.
<b>POZNÁMKY</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Osová vzdálenost je příliš malá. Řemenice mohou během instalace kolidovat.</li> <li>- Motážní přesnost vychází ze zadaného rozsahu osových vzdáleností.</li> <li>- V návrzích převodu z Design Flex Pro je počítáno pouze s Gates produkty a nejsou použitelné na produkty jiných výrobců.</li> <li>- Výrobky Gates nejsou určeny k použití na strojích, kde selhání výrobku může vést k ublížení na zdraví nebo k smrti. Toto zahrnuje použití na pohonech leteckých vrtulí a rotoru, nebo souvisejících pomocných pohonech.</li> </ul>			

## Převod = Motor levého bloku robotu - Pohon



## Návrh řemenového převodu - Detaily pohonu

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

<b>Navrženo pro:</b>		<b>Zajišťuje:</b> David Hanzlík VSB Ostrava Strahovice Strahovice, Moravskoslezský kraj 747 24 Česká republika David.Hanzlik@email.cz 000000000 Telefon	
Aplikace: <b>Mobilní robot</b>			
<b>VSTUP</b>			
<b>Info. o pohonu</b>		<b>Hnací</b>	<b>Hnaný</b>
Poměr otáček:	1,00 Motor: 3500,0 Převodovka: 7,00	500,0	500,0 +/-4%
Výkon motoru:	1,6 N-m Převodovka: 11,2 N-m	5 m/s	5 m/s
Provozní faktor:	1,2		
Konstr. výkon:	13,44 N-m	Kontrolovaná pouzdra: Žádná	
Středová vzdálenost:	135 mm +/-4%	Kontrolované řemeny: PowerGrip GT3	
Electric Motor			
<b>ZVOLENÝ POHON</b>			
Typ řemene: <b>PowerGrip GT3 - 5M</b>		<b>Řemen</b>	<b>Hnací</b>
		Díl č.: 450-5MGT3-15	36-5MR-15
		Produkt č.: 9400-55257	
Poměr otáček:	<b>1,0</b>	Horní šířka:	30,00 mm
Rychlost hnaná:	<b>500,0</b>	Hmotnost:	28 g
Nominální výkon:	<b>19,46 N-m</b>	Obv. rychl. m/s:	1,5 m/s
Na hřídel:	<b>503 N</b>	Otáčky za minutu:	200,0
Středová vzdálenost:	135,0 mm	Pouzdro položka č.:	--
Instalační tolerance:	<b>114,9 mm až 135,8 mm</b>	Díra:	9 mm - 28,6 mm
		Roztečný průměr:	57,30 mm
<b>NAPĚTÍ</b>			
Průhyb na drážku/žebro:	<b>Nový řemen</b> 2,70 mm	<b>Použitý řemen</b> 2,70 mm	
Síla v průhybu na drážku/žebro:	23 až 25 N	18 až 20 N	
Sonic - měnič napětí			Pokud plánujete demontáž použitých řemenů, změřte a zaznamenejte napětí před demontáží a napněte řemen na původní napětí.
Frekvence řemene:	230 až 241 Hz	192 až 206 Hz	
Nastavení Sonicu:	Hmotnost: 4,1 g/m, Šířka: 15 mm/#R, Rozpětí: 135 mm		
<b>POZNÁMKY</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motážní přesnost vychází ze zadaného rozsahu osových vzdáleností.</li> <li>- V návrzích převodu z Design Flex Pro je počítáno pouze s Gates produkty a nejsou použitelné na produkty jiných výrobců.</li> <li>- Výrobky Gates nejsou určeny k použití na strojích, kde selhání výrobku může vést k ublížení na zdraví nebo k smrti. Toto zahrnuje použití na pohonech leteckých vrtulí a rotoru, nebo souvisejících pomocných pohonech.</li> </ul>			

## Převod = Hnaná hřídel - Hnací hřídele



## Návrh řemenového převodu - Detaily pohonu

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

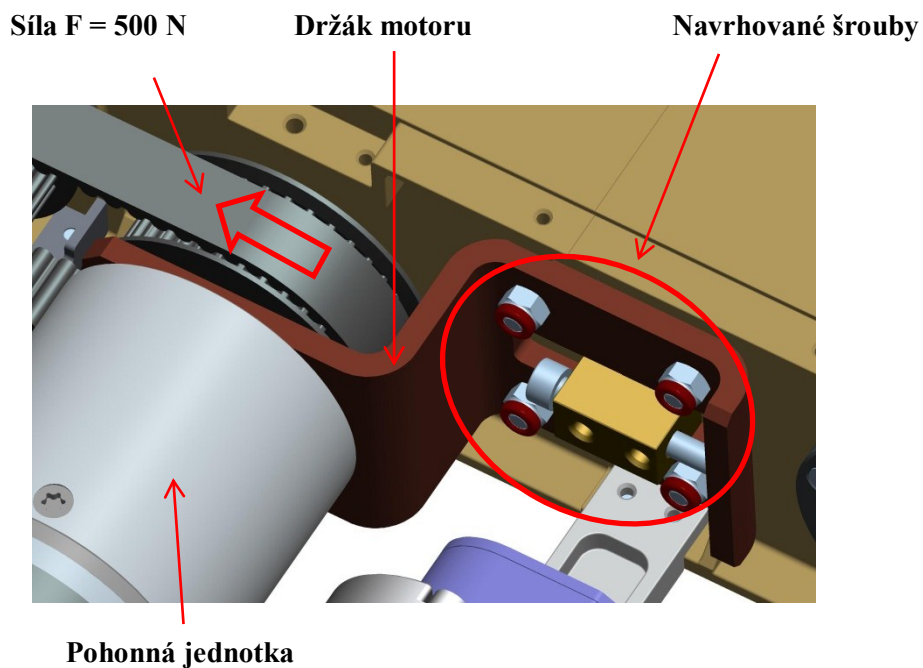
<b>Navrženo pro:</b>		<b>Zajišťuje:</b> David Hanzlík VSB Ostrava Strahovice Strahovice, Moravskoslezský kraj 747 24 Česká republika David.Hanzlik@email.cz 000000000 Telefon	
Aplikace: <b>Mobilní robot</b>			
<b>VSTUP</b>			
<b>Info. o pohonu</b>		<b>Hnací</b>	<b>Hnaný</b>
Poměr otáček:	1,00 Motor: 3500,0 Převodovka: 7,00	500,0	500,0 +/-4%
Výkon motoru:	1,6 N-m Převodovka: 11,2 N-m	5 m/s	5 m/s
Provozní faktor:	1,2		
Konstr. výkon:	13,44 N-m	Kontrolovaná pouzdra: Taper-Lock	
Středová vzdálenost:	210 mm +/-5%	Kontrolované řemeny: PowerGrip GT3	
Electric Motor			
<b>ZVOLENÝ POHON</b>			
Typ řemene: <b>PowerGrip GT3 - 5M</b>		<b>Řemen</b>	<b>Hnací</b>
		600-5MGT3-15	36-5MR-15
Poměr otáček:	<b>1,0</b>	Díl č.: 9400-55202	Hnaný 36-5MR-15
Rychlost hnaná:	<b>500,0</b>	Produkt č.: --	30,00 mm
Nominální výkon:	<b>19,46 N-m</b>	Horní šířka: --	30,00 mm
Na hřídel:	<b>503 N</b>	Hmotnost: 37 g	--
Středová vzdálenost:	210,0 mm	Obv. rychl. m/s: 1,5 m/s	1,5 m/s
Instalační tolerance:	<b>189,2 mm až 210,8 mm</b>	Otáčky za minutu: 150,0	500,0
		Pouzdro položka č.: --	1108
		Díra: --	9 mm - 28,6 mm
		Roztečný průměr: --	57,30 mm
<b>NAPĚTÍ</b>			
Průhyb na drážku/žebro:		<b>Nový řemen</b>	<b>Použitý řemen</b>
Sila v průhybu na drážku/žebro:		4,20 mm	4,20 mm
		24 až 26 N	18 až 20 N
Pokud plánujete demontáž použitých řemenů, změřte a zaznamenejte napětí před demontáží a napněte řemen na původní napětí.			
Sonic - měnič napětí			
Frekvence řemene:		148 až 155 Hz	124 až 132 Hz
Nastavení Sonicu:		Hmotnost: 4,1 g/m, Šířka: 15 mm/#R, Rozpětí: 210 mm	
<b>POZNÁMKY</b>			
- Motážní přesnost vychází ze zadaného rozsahu osových vzdáleností.			
- V návrzích převodu z Design Flex Pro je počítáno pouze s Gates produkty a nejsou použitelné na produkty jiných výrobců.			
- Výrobky Gates nejsou určeny k použití na strojích, kde selhání výrobku může vést k ublížení na zdraví nebo k smrti. Toto zahrnuje použití na pohonech leteckých vrtulí a rotoru, nebo souvisejících pomocných pohonech.			

### Příloha C Návrh šroubů držáků pohonných jednotek

Při návrhu těchto šroubů se vycházelo z úvahy, že na šrouby budou působit síly od řemenového převodu. Dle přílohy B je síla působící od krouticího momentu pohonu a napínací síly rovna  $\sim 500$  N.

NÁZEV	ZNAČKA	HODNOTA
Součinitel bezpečnosti proti přetížení	$k_s$	2,5
Bezpečnost proti prokluzu	$k$	1,4
Síla	$F_h$	500 N
Součinitel smykového tření na závitu [2]	$f_z$	0,18
Součinitel neznámého krutu	$\beta$	1,4
Jakostní skupina	TP	5.6
Počet šroubů	$z$	4

Tab. 71 - Vstupní parametry pro návrh šroubu



Obr. 59 - Detail pro návrh šroubů



**Určení potřebných parametrů pro návrh a kontrolu šroubu**

Pro výslednou bezpečnost byla potřeba upřesnit mez kluzu  $R_e$ , vycházelo se z jakostní skupiny šroubu

$$5.6 \Rightarrow R_e = 5 \cdot 6 \cdot 10 = 300 \text{ MPa} \quad (\text{C.01})$$

**Určení maximální síly, působící na šroub**

$$F_{\max} = F_h = 500 \text{ N} \quad (\text{C.02})$$

**Určení celkové osově přepětí síly**

$$F_{\max} \leq F_T \quad (\text{C.03})$$

$$k \cdot F_{\max} = F_{0C} \cdot f_z$$

$$F_{0C} = \frac{k \cdot F_{\max}}{f} = \frac{1,4 \cdot 500}{0,18} = 3889 \text{ N} \quad (\text{C.04})$$

síla působící na jeden šroub

$$F_0 = \frac{F_{0C}}{z} = \frac{3889}{4} = 972,25 \text{ N} \quad (\text{C.05})$$

**Návrh průměru šroubu**

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt}$$

$$\beta \cdot \sigma_t \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$\beta \cdot \frac{F_0}{S} \leq \frac{R_e}{k_s} \quad (\text{C.06})$$

$$\frac{4 \cdot \beta \cdot F_0}{\pi \cdot d_3^2} \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot \beta \cdot F_0 \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,4 \cdot 972,25 \cdot 2,5}{\pi \cdot 300}} = 3,12 \text{ mm} \quad (\text{C.07})$$

Na základě tohoto výpočtu byl zvolen vratový šroub **M5** DIN 603

Rozteč $p_R$	0,8 mm
Střední průměr závitu $d_2$	4,480 mm
Malý průměr závitu $d_3$	4,019 mm

Tab. 72 - Parametry závitu

**Pevnostní kontrola****Výpočet tahového napětí**

$$\sigma_t = \frac{F_0}{S} = \frac{F_0}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{972,25}{\pi \cdot \left(\frac{4,019}{2}\right)^2} = 76,64 \text{ MPa} \quad (\text{C.08})$$

**Vyjádření síly v závitu**

$$\operatorname{tg}(\varphi' + \psi) = \frac{F_z}{F_0} \Rightarrow F_z = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \quad (\text{C.09})$$

**Redukovaný třecí úhel**

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{p_n}{\pi \cdot d_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,8}{\pi \cdot 4,480}\right) = 3,25^\circ \quad (\text{C.10})$$

**Úhel stoupání**

$$\varphi' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,18}{\cos 30}\right) = 11,74^\circ \quad (\text{C.11})$$

**Výpočet napětí v krutu**

$$\tau_k = \frac{M_{Tz}}{W_k} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad (\text{C.12})$$

$$\tau_k = \frac{972,25 \cdot \operatorname{tg}(3,25 + 11,74) \cdot \frac{4,480}{2}}{\frac{\pi \cdot 4,019^3}{16}} = 45,75 \text{ MPa}$$

**Redukované napětí dle Guestovy hypotézy**

$$\sigma_{RED} = \sqrt{(\sigma_t)^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{76,64^2 + 4 \cdot 45,75^2} = 119,35 \text{ MPa} \quad (\text{C.13})$$

**Výsledná bezpečnost šroubu**

$$k_s = \frac{300}{119,35} = 2,5 \quad (\text{C.14})$$

Tento šroub je dostačující pro použití při této aplikaci (*běžná bezpečnost: 1,5 - 2,5*).  
Dále byl stanoven potřebný utahovací moment.

### Utahovací moment

Skládá se ze dvou složek:

#### Třecí moment v závitě šroubu

$$M_{TZ} = \frac{d_2}{2} \cdot F_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi' + \psi) = \frac{4,480}{2} \cdot 972,25 \cdot \operatorname{tg}(11,74 + 3,25) = 583,14 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (\text{C.15})$$

#### Třecí moment mezi hlavou šroubu a materiálem

$$M_{TH} = F_0 \cdot \frac{d_s}{2} \cdot f_H = F_0 \cdot \frac{d_{\max} + d_{\min}}{4} \cdot f_H = 972,25 \cdot \frac{13,5 + 7,5}{4} \cdot 0,1 = 510,43 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (\text{C.16})$$

$d_s$  - střední průměr stykové plochy hlavy šroubu s montovaným dílem

$f_H$  - součinitel tření hlavy šroubu s montovaným dílem

#### Výsledný moment je pak dán součtem těchto složek

$$M_U = M_{TZ} + M_{TH} = 583,14 + 510,43 = 1093,6 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong 1,1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{C.17})$$

[1], [2]

## Příloha D MITCalc

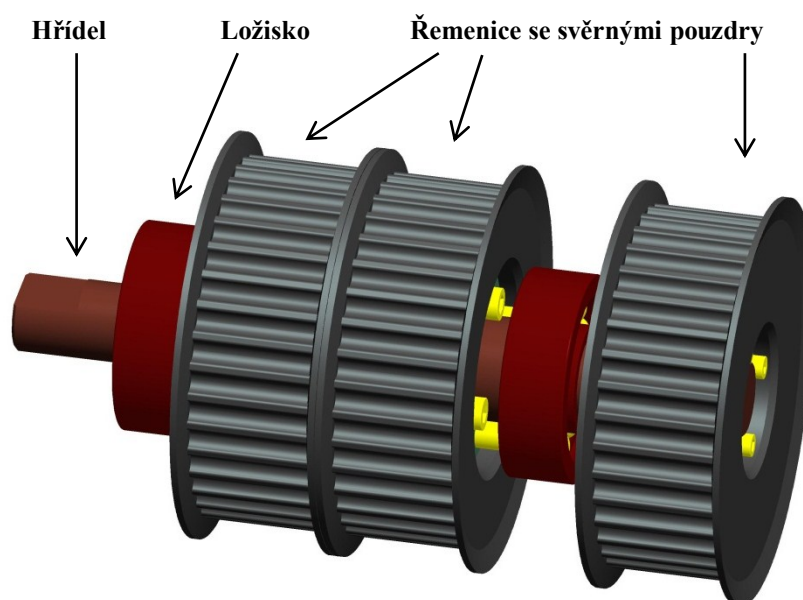
Z důvodu velkého množství vstupních a výstupních dat softwaru MITCalc zde budou prezentovány jen některé segmenty podvozku. Konkrétně prostřední hřídel řemenového převodu a její ložiska.

### Seznam všech navrhovaných a kontrolovaných součástí

- návrh ložisek napínacích kladek
- návrh ložisek řemenových převodů
- kontrola čepů napínací kladky
- kontrola hřídelů řemenových převodů (přední, prostřední, zadní)

### Prostřední hřídel řemenového převodu

Hřídel byla v předběžném návrhu zatížena krouticím momentem od komponentů řemenového převodu, silou působící kolmo na osu hřídele a spojitým zatížením. Pro definování kritických otáček hřídele pak byly definovány všechny hmotné kotouče spojené svěrným spojem k hřídeli. Dále byl zvolen materiál hřídele (12 050) a její namáhání.



Obr. 60 - Sestava prostřední hřídele se všemi komponenty

**Kapitola vstupních parametrů**

**1.0 Předběžný návrh průměru hřídele**

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Přenášený výkon 0,13 [kW]

1.3 Otáčky hřídele 450 [/min]

1.4 Krouticí moment 2,76 [Nm]

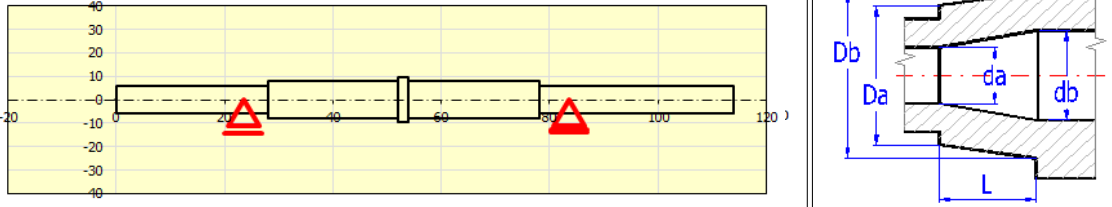
1.5 Předběžný min. průměr 8,26 [mm]

1.6 Typ zatížení hřídele B...Stálý krut + ohyb

1.7 Materiál hřídele (pevnost v tahu) B...Ocel se zvýšenou pevností (850)

**2.0 Tvar a rozměry hřídele**

2.1 Měřítka průměru zobrazeného hřídele 1:1 ☒ Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)



2.2 Tabulka

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Počátek	0,00	28,00	52,00	54,00	78,00	114,00	114,00	114,00	114,00	114,00
L	28,000	24,000	2,000	24,000	36,000					
ø Da	12,000	16,000	19,000	16,000	12,000					
ø Db	12,000	16,000	19,000	16,000	12,000					
ø da	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
ø db	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
R	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500					

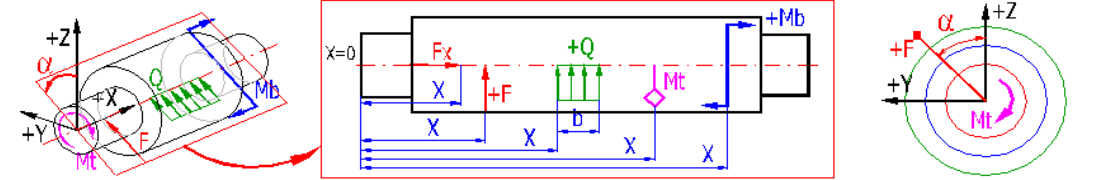
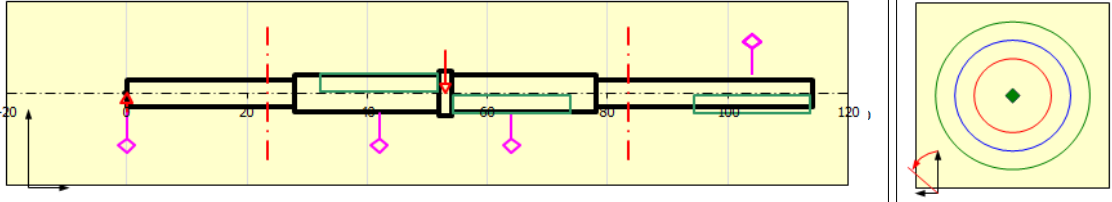
2.3 Celková délka hřídele 114,00 [mm]

2.4 X-ová souřadnice levé podpory (ložiska) Volná 23,50 [mm]

2.5 X-ová souřadnice pravé podpory (ložiska) Pevná 83,50 [mm]

2.6 Povrch hřídele (Drsnost Ra) C...Broušeno (0,8)

**4.0 Zatížení hřídele**

4.1 Zatížení

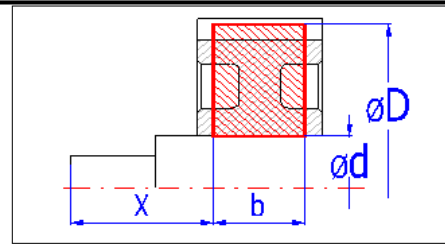
	X	Fx	F	alfa	Mt	Mb	alfa	Q	b	alfa
	[mm]	[N]		[°]	[Nm]		[°]	[N/mm]	[mm]	[°]
1	104,00				-15,00					
2	94,00							25,00	20,00	0
3	64,00				15,00					
4	54,00							25,00	20,00	0
5	104,00				-15,00					
6	32,00							-25,00	20,00	0
7	42,00				15,00					
8	0,00		120,0		15,00					
9	104,00				-15,00					
10	53,00		-120,0							

**5.0 Rotující hmoty**

5.1 Dodatečné rotující hmoty (výpočet kritických otáček)

5.2 Použít zatížení od hmotnosti kotoučů ve výpočtu? Ano ▼

5.3	X	D	d	b	Ro	m
	[mm]				[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg]
M1	32,00	55,00	16,00	20,00	0,0	0,20
M2	54,00	55,00	16,00	20,00	0,0	0,20
M3	90,00	55,00	12,00	20,00	0,0	0,20
M4	0,00	127,00	12,00	20,00	0,0	0,30
M5						

**6.0 Materiál a způsob namáhání**

6.1 Materiál hřídele (Pevnost v tahu min-max)

B...Zušlechťená a legovaná ocel (500 - 1400) 1130 ▼ [MPa]6.2 Mez pevnosti v tahu  $S_u/R_m$  596 [MPa] ☒6.3 Mez kluzu v tahu  $S_y/Re$  387 [MPa]6.4 Mez kluzu v ohybu  $S_{yb}/R_{eb}$  465 [MPa]6.5 Mez kluzu ve smyku  $S_{ys}/R_{es}$  271 [MPa]**6.6 Pro střídavé zatížení**6.7 Mez únavy - tah/tlak  $\sigma_c$  215 [MPa]6.8 Mez únavy - ohyb  $\sigma_{ec}$  286 [MPa]6.9 Mez únavy - krut  $\tau_c$  179 [MPa]**6.10 Pro míjivé zatížení**6.11 Mez únavy - tah/tlak  $\sigma_{hc}$  322 [MPa]6.12 Mez únavy - ohyb  $\sigma_{ehc}$  429 [MPa]6.13 Mez únavy - krut  $\tau_{hc}$  250 [MPa]6.14 Měrná hmotnost Ro 7850,0 [kg/m<sup>3</sup>]

6.15 Modul pružnosti v tahu E 210000 [MPa]

6.16 Modul pružnosti ve smyku G 80000 [MPa]

6.17 Zatížení vlastní vahou Ano ▼6.18 Max. zobrazený součinitel bezpečnosti 20 ▼6.19 Součinitel namáhání  $\alpha_0$  1,30 ☒**6.20 Součinitel max. zatížení**

6.21 Ohyb 1,70

6.22 Posouvající síla 1,70

6.23 Krut 1,70

6.24 Tah/Tlak 1,70

**6.25 Zatěžovací podmínky**

6.26 Zatížení ohybovým momentem A...Statické ▼

6.27 Zatížení posouvající silou C...Střídavé ▼

6.28 Zatížení kroutícím momentem C...Střídavé ▼

6.29 Zatížení tahovou/tlakovou silou B...Míjivé ▼

**6.30 Dynamická kontrola**6.31 Vliv povrchu hřídele Ano ▼6.32 Vliv velikosti hřídele Ano ▼6.33 Vliv koncentrace napětí (vrub) Ano ▼**7.0 Výsledky - shrnutí**

	x	y	z	$\Sigma y+z$		7.17 Graf
7.1 Reakce v podpoře R1	0	-2,984E-09	253,275888	253,275888	[N]	04...Z - Průhyb [mm] ▼
7.2 Reakce v podpoře R2	0	-2,224E-09	-741,85066	741,850655	[N]	27...Úhel zkroucení [°] ▼
7.3 Celková hmotnost hřídele	m	0,14	[kg]			
7.4 Maximální průhyb	y	0,0271	[mm]			
7.5 Maximální zkroucení	$\varphi$	0,7211	[°]			
7.6 Naklonění v R1	$\vartheta$	0,0203	[°]			
7.7 Naklonění v R2	$\vartheta$	0,0288	[°]			
7.8 Max. napětí v ohybu	$\sigma_e$	60,1	[MPa]			
7.9 Max. napětí ve stíhu	$\tau_s$	4,4	[MPa]			
7.10 Max. napětí v krutu	$\tau_t$	132,6	[MPa]			
7.11 Max. napětí v tahu/tlaku	$\sigma_g$	0,0	[MPa]			
7.12 Max. redukované napětí	$\sigma_r$	314,2	[MPa]			
7.13 Min. statická bezpečnost	SF <sub>st</sub>	1,73				
7.14 Min. dynamická bezpečnost	SF <sub>D</sub>	1,66				
7.15 Rezonanční otáčky (A)	$n_c$	184783,0	[1/min]			
Rezonanční otáčky (B)	$n_c$	182652,7	[1/min]			
Rezonanční otáčky (C)	$n_c$	116646,9	[1/min]			

Hřídel volně otočný v ložiskách, rotující disk mezi ložisky (K=1)

7.16 Výsledky v souřadnici X =	28,00	52,00	54,00	78,00	114,00	114,00	114,00	114,00
27...Úhel zkroucení [°]	0,14678906	0,20471604	0,20815766	0,31209001	0,72111319	0,72111319	0,72111319	0,72111319
16...Průhyb - Součet [mm]	0,00139015	0,00516127	0,00516585	0,00206122	0,02709589	0,02709589	0,02709589	0,02709589
02...Z - Ohybový moment [Nm]	4,37532342	8,32085549	7,97973087	8,84526288	0	0	0	0
30...Redukované napětí [MPa]	109,980426	87,9589937	53,5024464	130,600909	0	0	0	0
39...Rez - průřezový modul v krutu [mm <sup>3</sup> ]	339,292007	804,247719	1346,7615	804,247719	339,292007	339,292007	339,292007	339,292007

Navržené hřídele vyhovují zadaným parametrům.


## Ložiska s kosoúhlým stykem

U ložisek pro řemenové rozvody Z důvodu s obtížným určením axiálních sil působících při smykm řízeném podvozku. Z tohoto důvodu byly zvoleny a zkontrolovány ložiska s kosoúhlým stykem, které jsou schopny přenést vyšší axiální zatížení.

**Kapitola vstupních parametrů**

**1.0 ☒ Volba typu ložiska, zatížení ložiska**

1.1 Jednotky výpočtu SI Units (N, mm, kW...)

1.2 Typ ložiska  Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jednořadá

1.3 Provedení ložiska

1.4 Samostatné ložisko

1.5

1.6

1.7 Zatížení ložiska

1.8 Otáčky n 500,0 [1/min]

1.9 Radiální zatížení Fr 750,0 [N]

1.10 Axiální zatížení Fa 500,0 [N]

1.11 Součinitel přídatných dynamických sil 1

1.12 Požadované parametry ložiska

1.13 Trvanlivost ložiska Lh 4000 [h]

1.14 Součinitel statické bezpečnosti s0 2,00

1.15 Přídatné dynamické síly

1.16 ☐ Žádné

1.17 ☐ Od ozubených převodů

1.18 Běžná ozubená kola (úchytky tvaru a rozteče 0.02 až 0.1 mm)

1.19 Součinitel fk 1,1 - 1,3 1,20 ☒

1.20 Elektrické točivé stroje, turbíny, turbokompresory

1.21 Součinitel fd 1 - 1,2 1,10 ☒

1.22 ☒ Od řemenových převodů

1.23 Ozubené řemeny

1.24 Součinitel fb 1,1 - 1,3 1,20 ☒

**2.0 ☒ Volba rozměrů ložiska**

2.1 Rozměry ložiska

ID	d	D	B	C	C0	nr	nmax	Ložisko
5	12,0	32,0	10,0	7610	3800	26000	26000	7201 BEP

2.2 Parametry ložiska

2.3 Základní dynamická únosnost C	7610	[N]
2.4 Dynamické ekvivalentní zatížení P	750	[N]
2.5 Základní trvanlivost L10h	34822	[h]
2.6 Základní statická únosnost C0	3800	[N]
2.7 Statické ekvivalentní zatížení P0	750	[N]
2.8 Součinitel statické bezpečnosti s0	5,07	
2.9 Dovolené radiální zatížení Frmax	-	[N]
2.10 Dovolené axiální zatížení Famax	-	[N]
2.11 Referenční otáčky nr	26000	[1/min]
2.12 Mezní otáčky nmax	26000	[1/min]
2.13 Ztrátový výkon NR	0,47	[W]
2.14 Váha ložiska g	0,036	[kg]

2.3 d 12

2.4 D 32

2.5 B 10

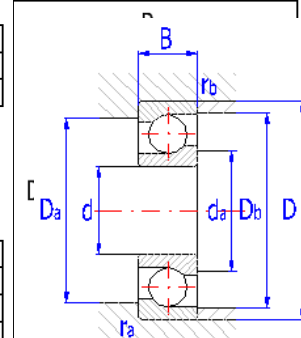
2.6 ramax 0,6

2.7 rbmax 0,3

2.8 Damax 27,8

2.9 damin 16,2

2.10 Dbmax 29,6

2.11 

**3.0 ☒ Provozní parametry, modifikovaná trvanlivost ložiska**

3.1 Kinematická viskozita maziva

3.2 Vztažná viskozita V1 47 [mm^2/s]

3.3 Provozní viskozita V 20,1 [mm^2/s]

3.4 Viskózní poměr K 0,43

3.5 Požadované minimální zatížení

3.6 Minimální axiální zatížení Famin 0,06 [N]

3.7 Výpočet modifikované trvanlivosti

3.8 Mezní únavové zatížení Pu 160 [N]

3.9 Požadovaná spolehlivost 90 %

3.10 Znečištění maziva Normální čistota

3.11 Součinitel úrovně znečištění η 0,6 - 0,5 0,60 ☒

3.12 Součinitel trvanlivosti a1/a23 1 0,57

3.13 Modifikovaná trvanlivost Lmh 19849 [h]

**6.0 ☒ Výpočet ložisek s kosoúhlým stykem**

6.1 Uspořádání ložisek

6.2 Typ ložiska

6.3 Vnější osová síla Ka 500,0 [N]

6.4 Ložisko A (doporučeno řešit přednostně)

6.5 Provedení ložiska

6.6 Radiální zatížení FrA 750,0 [N]

6.7 Rozměry ložiska

ID	d	D	B	nmax	Ložisko
6.8 Axiální zatížení Fa	714,3	[N]			
6.9 Dynamické ekvivalentní zatížení P	750	[N]			
6.10 Základní trvanlivost L10h	27334	[h]			
6.11 Přenos do hlavního výpočtu					

6.12 Ložisko B

6.13 Provedení ložiska

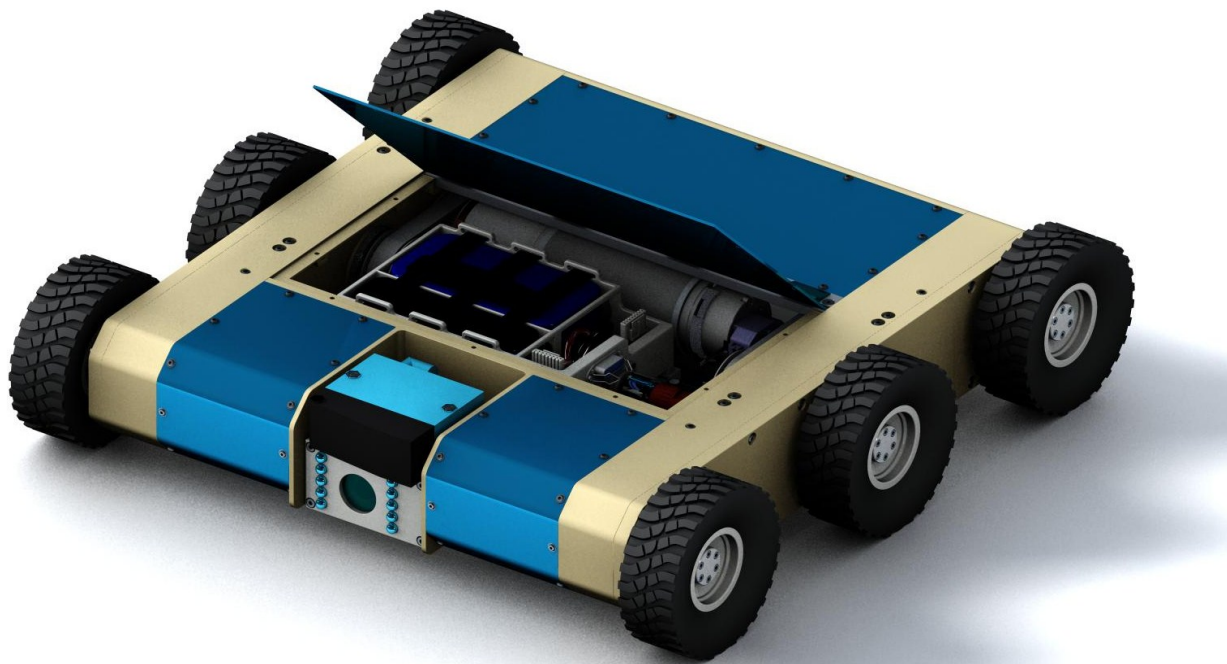
6.14 Radiální zatížení FrB 250,0 [N]

6.15 Rozměry ložiska

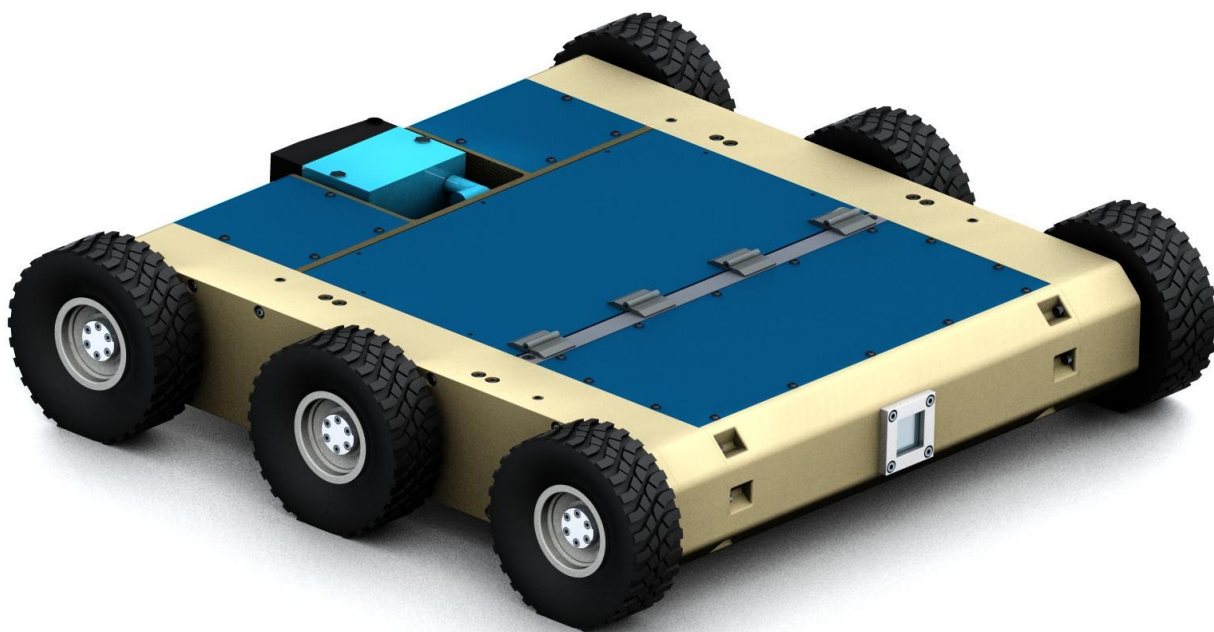
ID	d	D	B	nmax	Ložisko
6.16 Axiální zatížení Fa	214,3	[N]			
6.17 Dynamické ekvivalentní zatížení P	250	[N]			
6.18 Základní trvanlivost L10h	738023	[h]			
6.19 Přenos do hlavního výpočtu					



**Příloha F 3D model finální varianty a fotky z realizace**

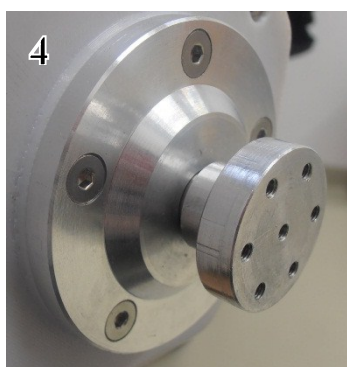
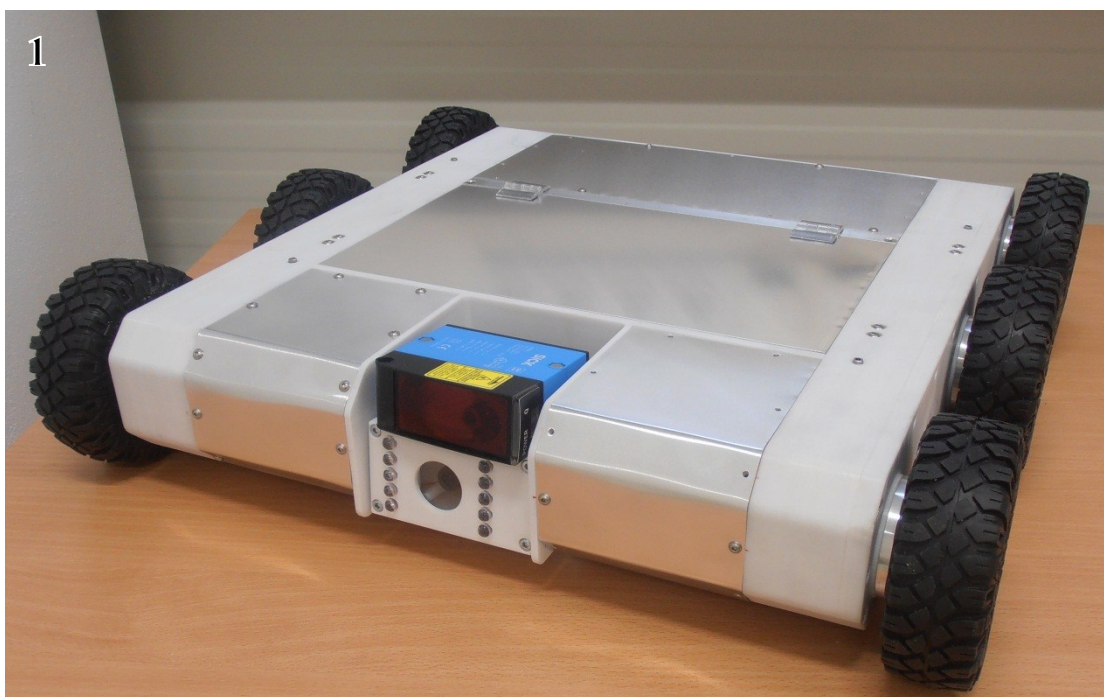


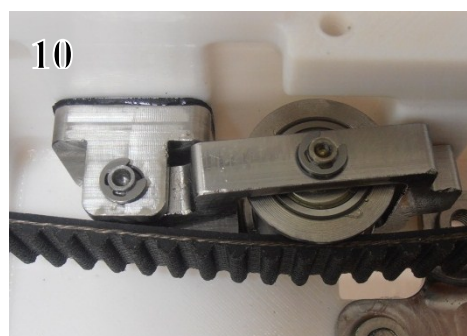
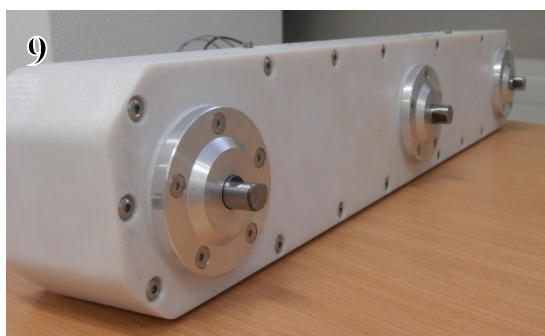
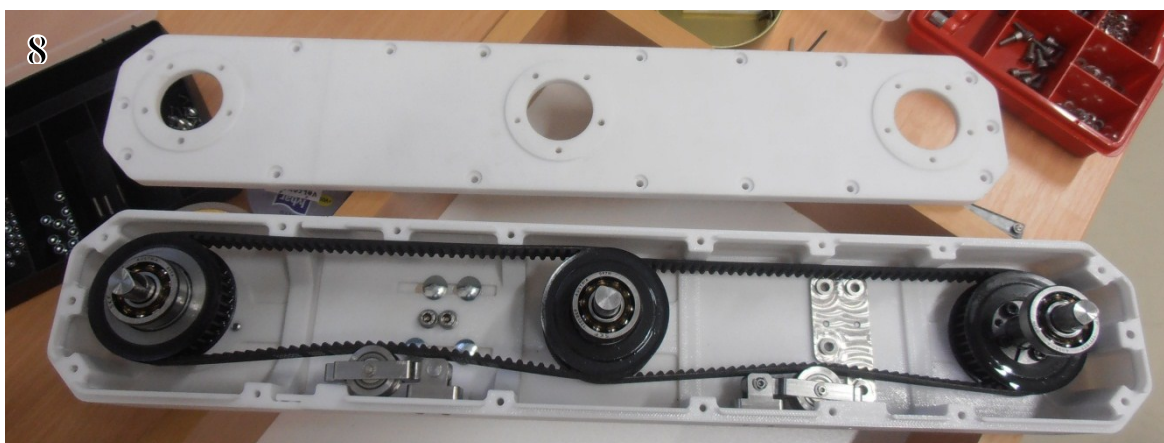
*Obr. 61 - 3D model mobilního robotu pro monitoring*



*Obr. 62 - 3D model mobilního robotu pro monitoring*







1 Kompletní sestavení

2 Přední kamerový  
subsystém

3 Sestavy hřídelů

4 Unášecí příruba

5 Levý blok podvozku

6 Prvky uchycení  
držáku pohonu

7 Pohonná jednotka

8 Řemenový převod

9 Blok podvozku

10 Napínací systém

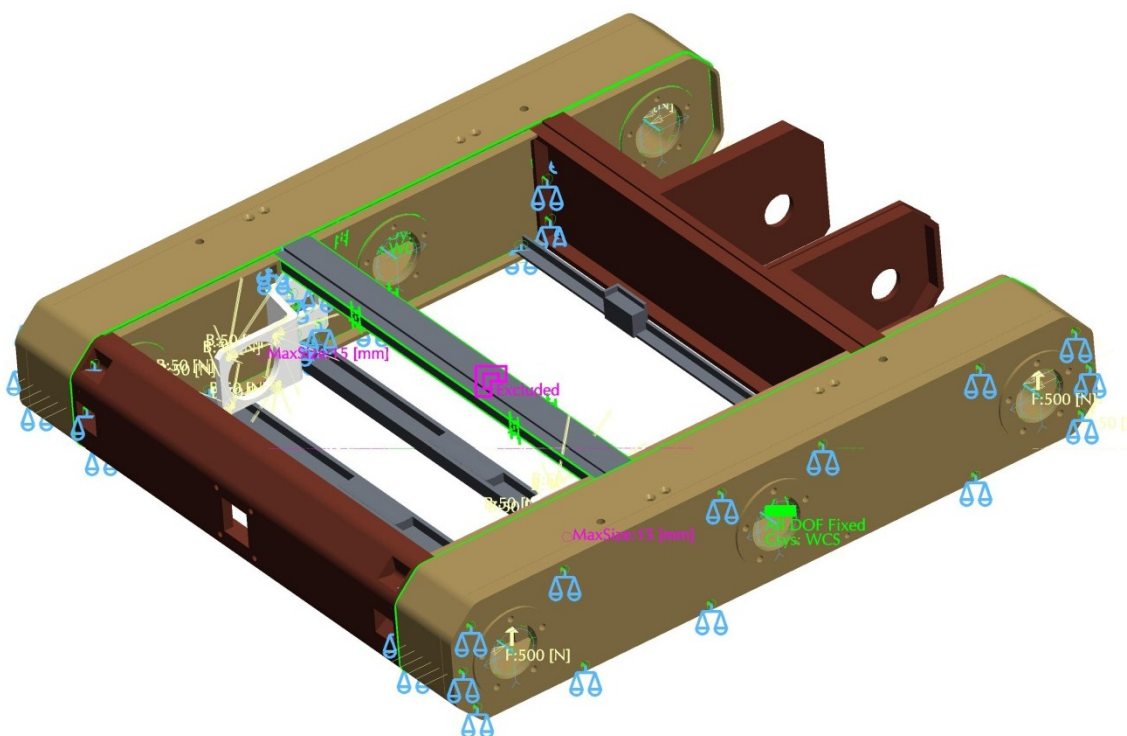
11 Zadní pohled



## Příloha G Pevnostní analýzy rámu

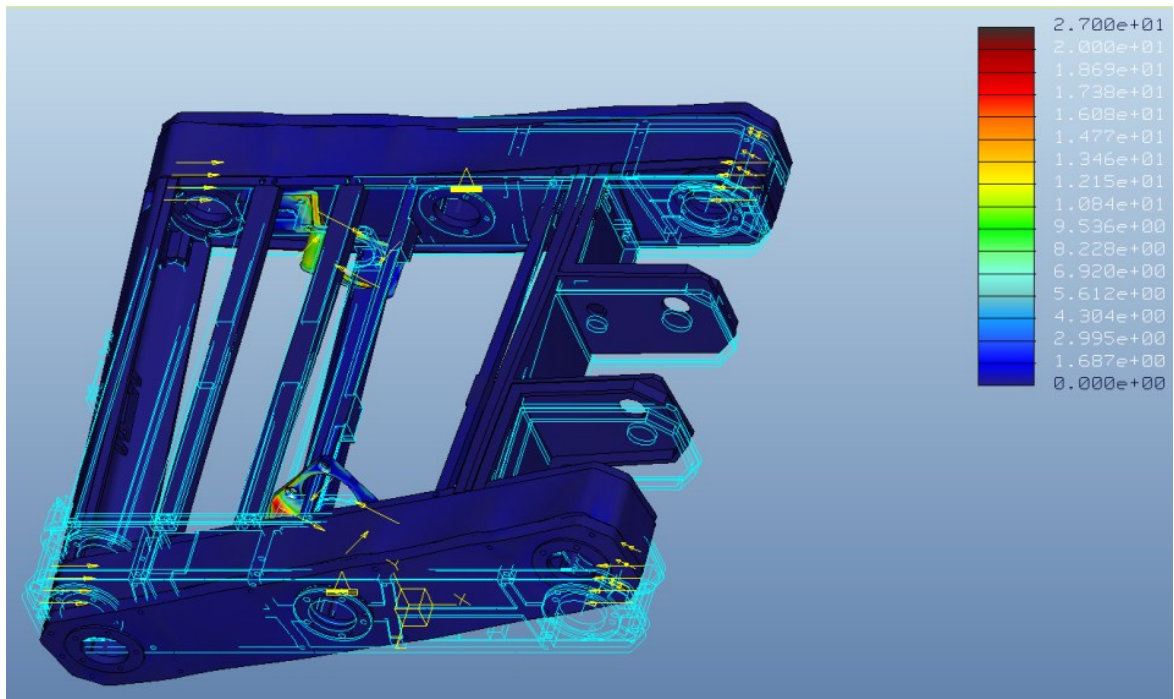
Model pro pevnostní analýzy byl zbaven zbytečných zaoblení a komponentů. Zůstaly jen nosné prvky rámu. Nastavený materiál je polykarbonát, a jelikož se jednalo o ortotropní materiál, byly v jednotlivých modelech nastaveny materiálové orientace. Jednotlivé díly byly k sobě spojeny šrouby (prvek Fasteners) bez předpětí s nastaveným kontaktem mezi díly. Horní hliníková vzpěra byla k rámu připevněna vazbou Bonded a spodní prvky (podpěry motorů a boxu s akumulátory) byly přišroubovány vazbou Fasteners.

V simulaci byl model uchycen na dvou hřídelích. Jedné byl zamezen pohyb ve dvou směrech a povoleny rotace ve všech osách, druhá byla umístěna pevně. Ve zbývajících uloženích byly nadefinovány pruty (prvky Beam) připojené pevnou vazbou ke konstrukci. Tyto pruty byly zatíženy silou mezi hřídelemi o velikosti 500 N (tato síla je od napínání řemene a krouticího momentu udávaného distributorem řemenového převodu, je uvedena ve výpočtu přílohy B), silou nárazu 50N a reakcemi od krouticího momentu.

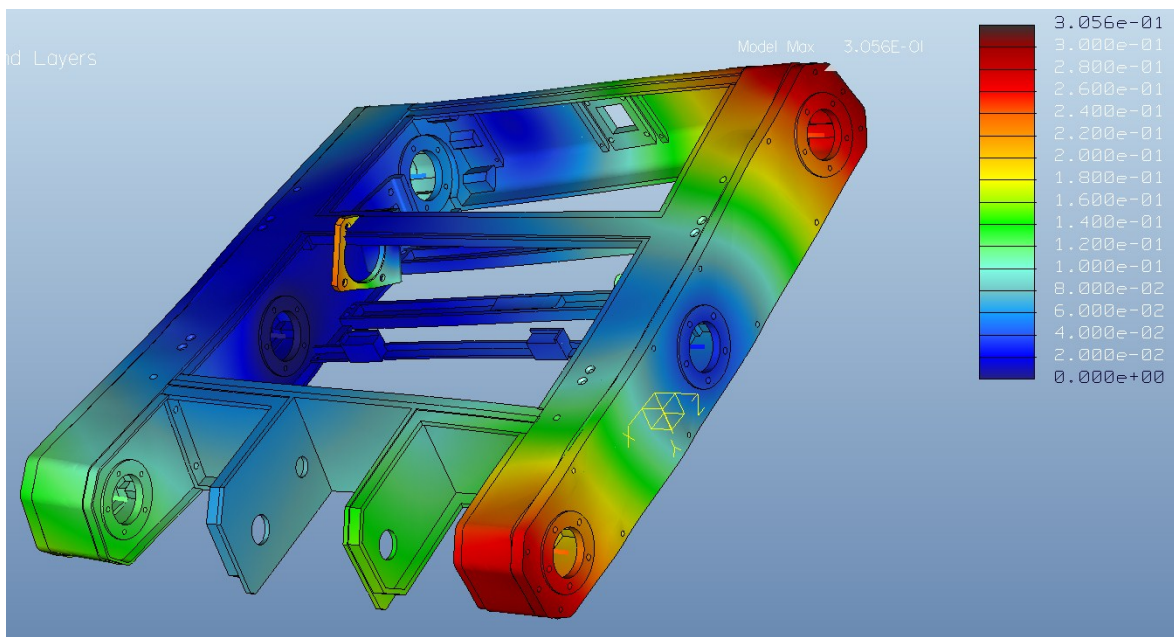


Obr. 63 - Schéma vazeb a prvků modelu

Při zatížení modelu všemi silami je největší napětí v držácích pohonů (shodně 27 MPa). Držáky jsou ale zatíženy pouze silou od řemenového převodu. Od zatížení krouticím momentem pohonu pojednává příloha H, kde je pevnostní analýza držáku motoru. Tento konstrukční uzel byl vyřešen samostatně.

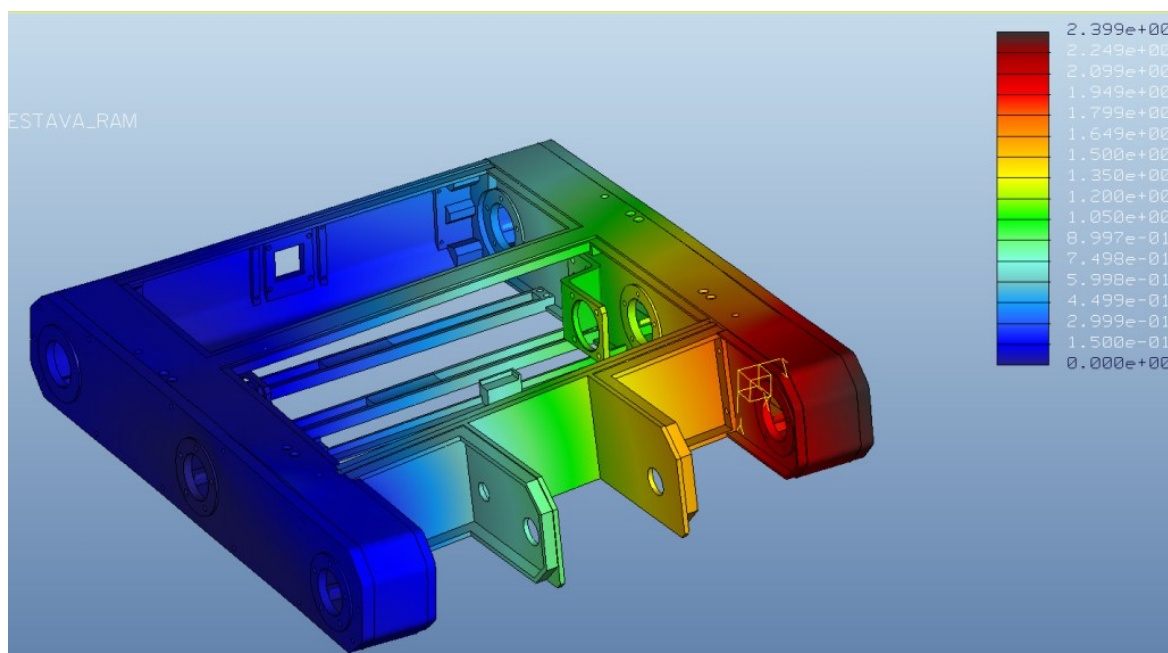


Obr. 64 - Napětí při zatížení všemi silami



Obr. 65 - Maximální deformace při zatížení všemi silami

Při zavazbení jedné hřídele modelu pevně je maximální deformace (průhyb) 2,4 mm.



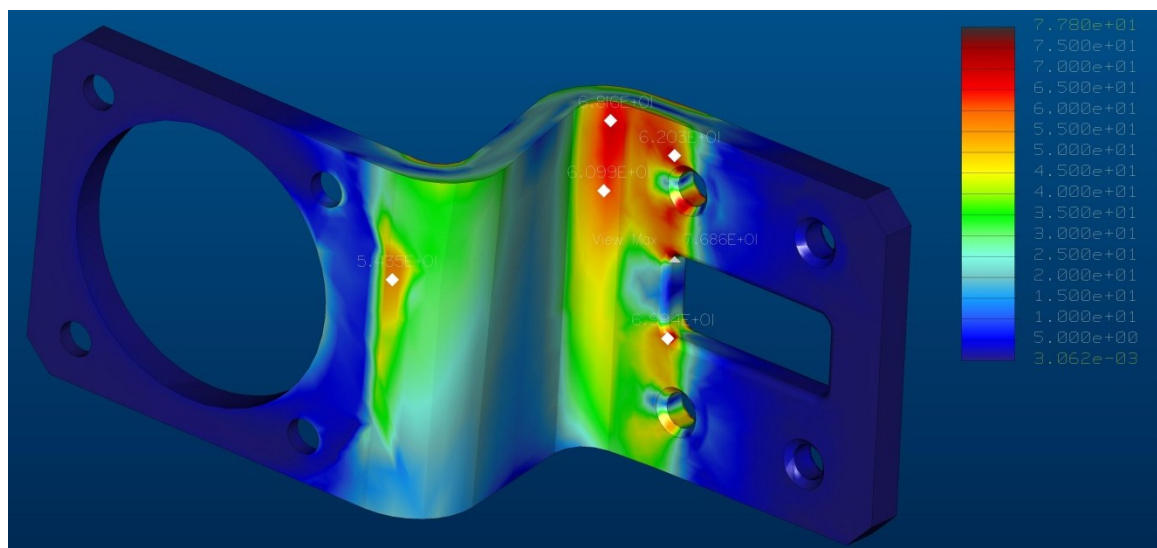
## Příloha H Pevnostní analýzy vybraných komponentů

V diplomové práci byly pomocí pevnostních analýz zkontrolovány prvky napínacích kladek, hřídele a držáky motorů. Pro prezentaci výsledků byly zvoleny držáky motorů.

Na obrázcích je znázorněna pouze výsledná simulace. V modelu byla deska upevněna k rámu pomocí šroubů a spojena vazbou Bonded s motorem. Byly na ni aplikovány síly působící od krouticího momentu a napínání řemene (udávaná distributorem řemenových převodů) a krouticí moment od motoru.

### Výsledky analýzy pro hliník (Al99F16)

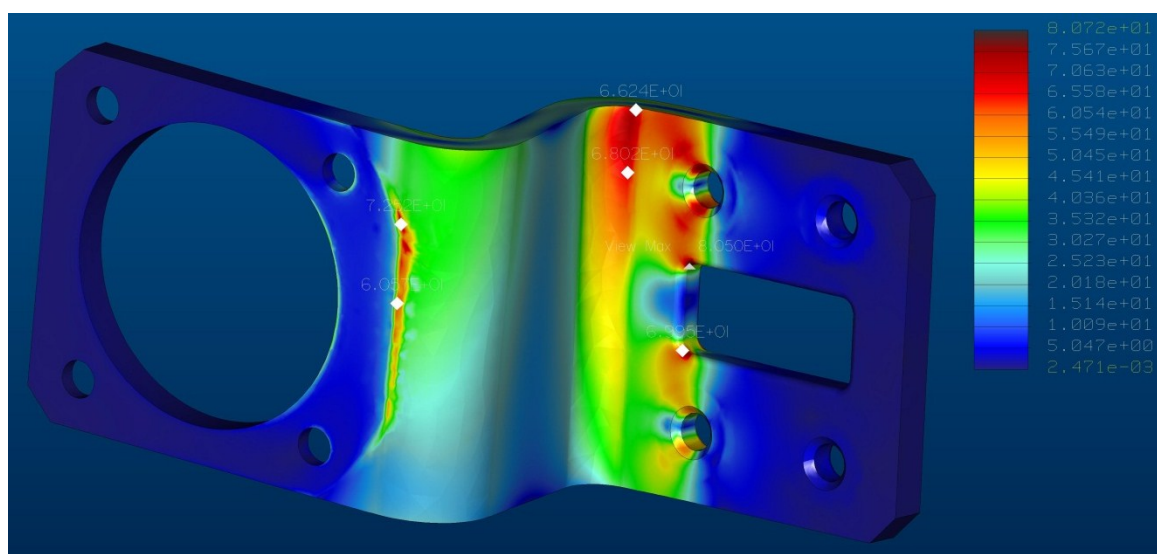
Deformace při této kontrole nebyla optimální. Držák motoru byl tedy navržen z oceli. Napětí v místech ohybu držáku z hliníku byly cca 60 MPa. Ve špičkách (místa šroubů) pak cca 77 MPa.



Obr. 66 - Napětí u držáku z hliníku

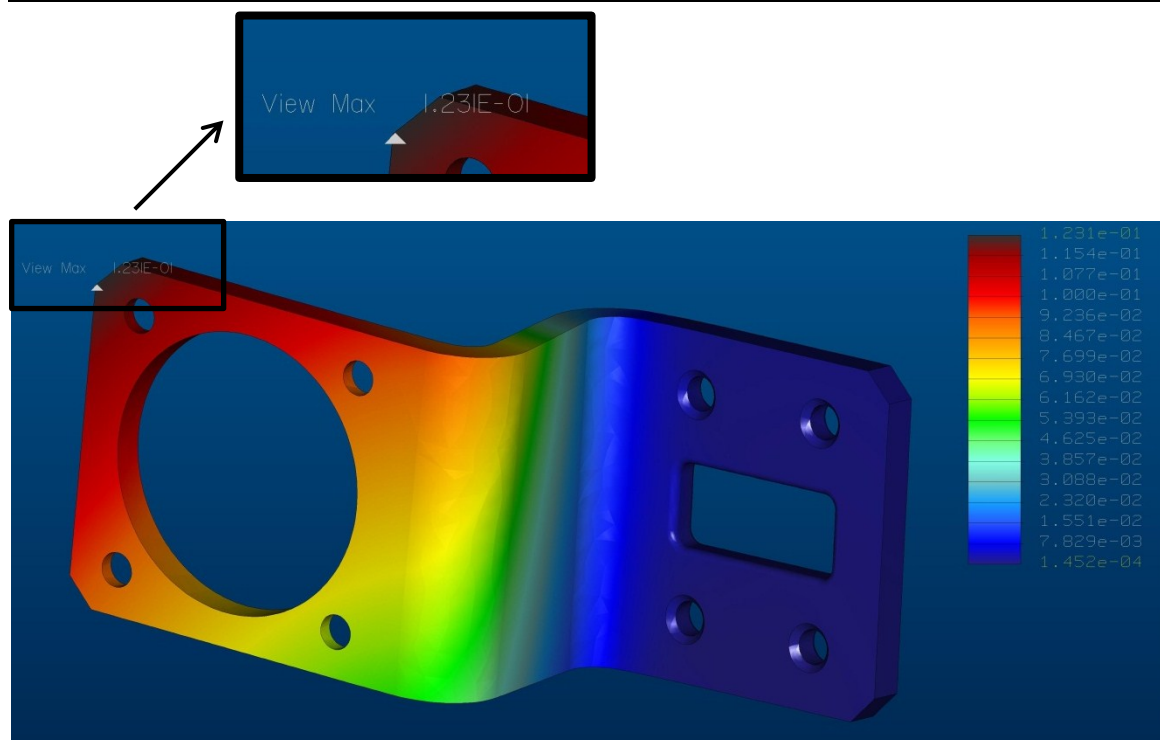
### Výsledky analýzy pro ocel (C45 - 12 050)

Materiálem držáku byla zvolena ocel C45, která má pro dolní mez mříživého zatížení v ohybu hodnotu 196 MPa. Výsledné napětí v držáku je 80 MPa a deformace je 0,12 mm. Součást tedy pevnostně vyhovuje.



Obr. 67 - Napětí u držáku z oceli

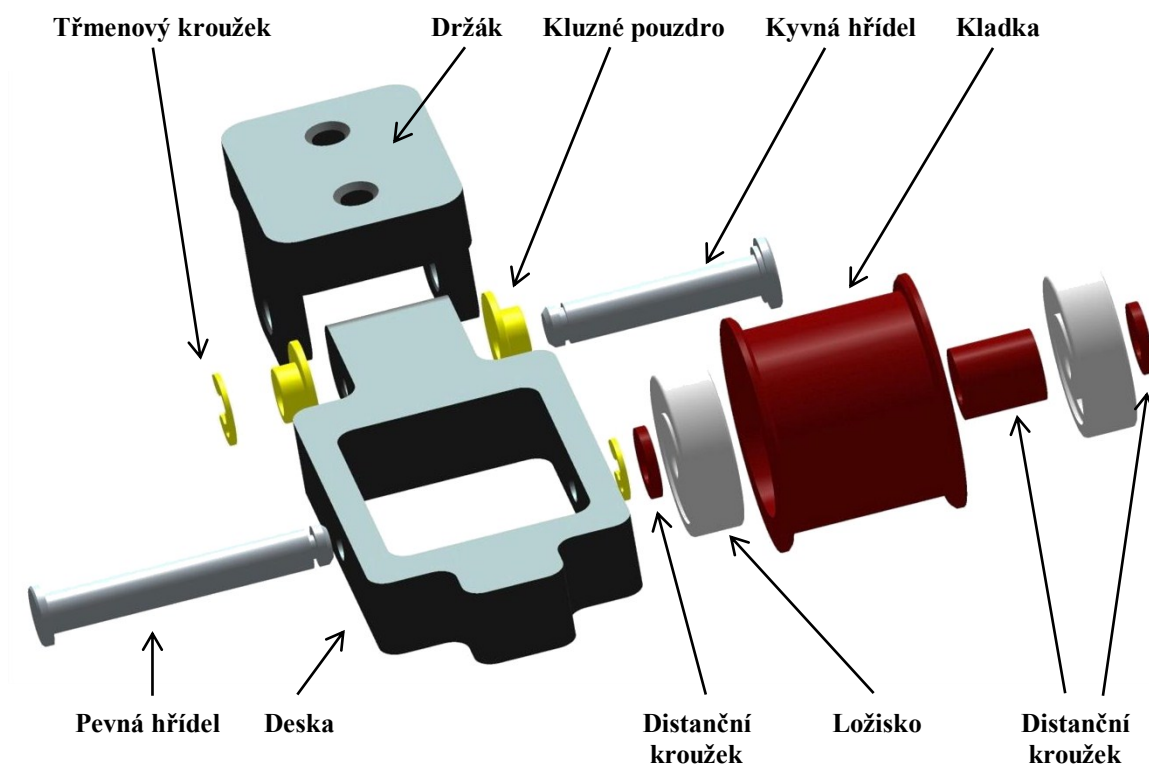




Obr. 68 - Deformace u držáku z oceli

**Příloha I    Montážní postup****1      Montáž napínací kladky**

Napínací kladky se skládají z dílů popsanych na obrázku 69. Hlavními nosnými díly jsou držák a deska.



*Obr. 69 - Rozložená sestava napínací kladky*

**Postup montáže**

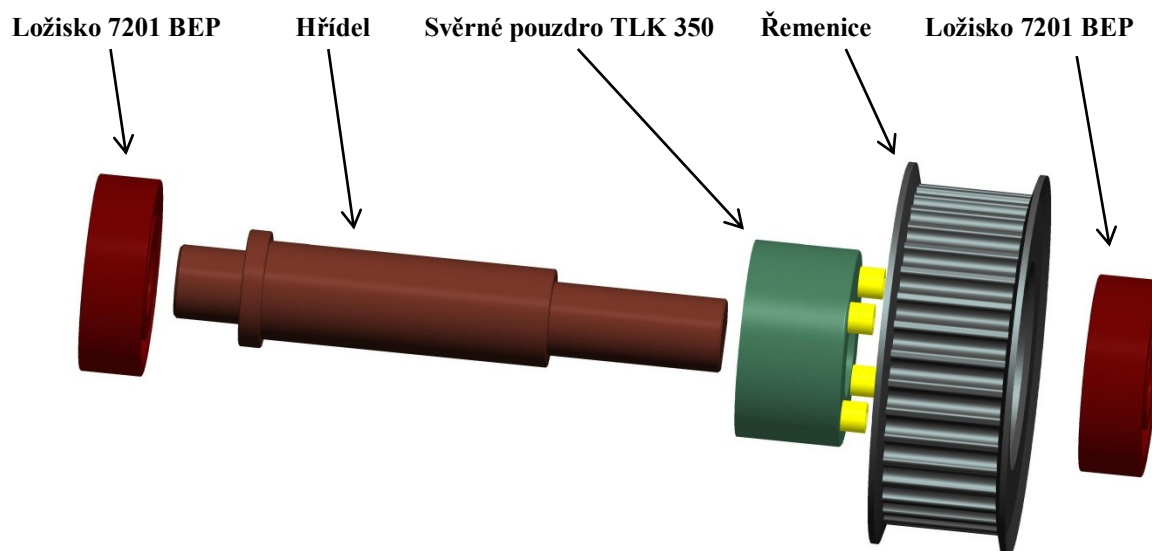
- a** Naklepat jedno z ložisek SKF 626 - RSL do kladky.
- b** Vložit střední distanční kroužek a naklepat druhé s ložisek SKF 626 - RSL.
- c** Vložit celek do otvoru v desce a spolu s použitím krajních distančních kroužků nalisovat pevný čep.
- d** Zajistit třmenovým kroužkem 2.3.
- e** Nalisovat kluzná pouzdra GFM - 0405 - 03 do držáků.
- f** Vložit desky s kladkou do držáků a nasadit kyvné čepy.
- g** Zajistit třmenovým kroužkem 3.2.



## 2 Montáž hřídelů

### Přední a zadní hřídele

Montážní postup je obdobný pro přední a zadní hřídele řemenového rozvodu. Bude tedy popsána montáž pouze jedné hřídele.



Obr. 70 - Rozložená sestava přední hřídele

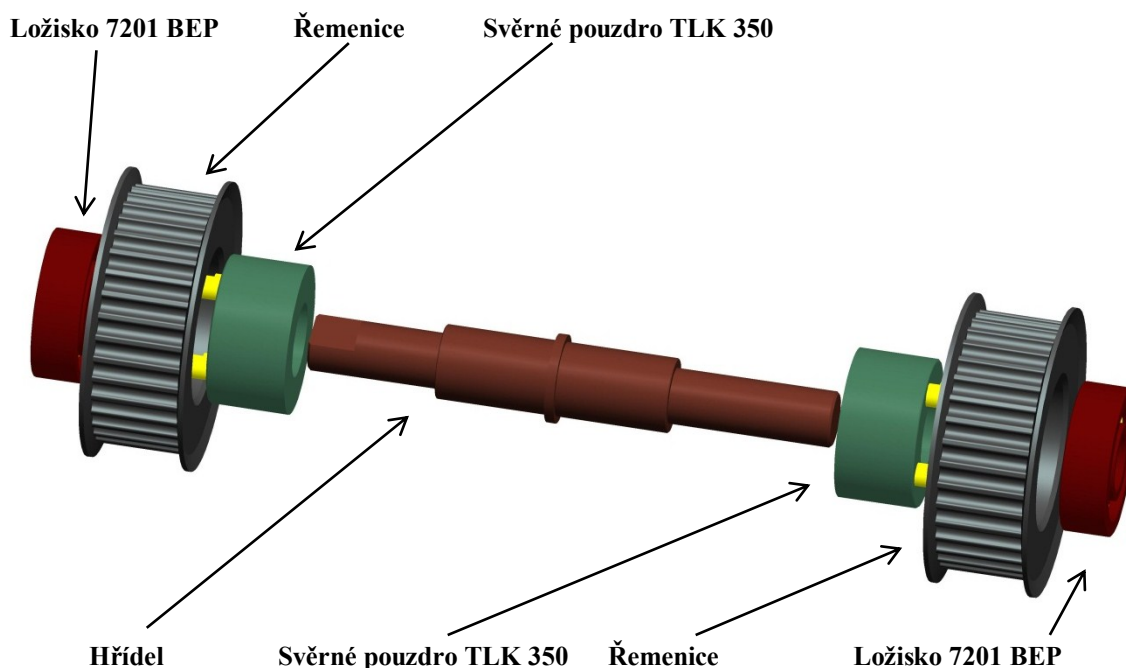
### Postup montáže

- a Zbavit hřídel nečistot a namazat dosedací plochy konzervačním olejem.
- b Nasadit svěrné pouzdro TLK 350 16x32 na hřídel  $\varnothing 16$  mm po  $\varnothing 19$  mm.
- c Nasadit řemenici a postupně do kříže utahovat pouzdro TLK 350 po utahovací moment 4,9 Nm.
- d Pomocí přípravků nasadit z obou stran ložiska SKF 7201 BEP.

### Prostřední hřídele

### Postup montáže

- e Zbavit hřídel nečistot a namazat dosedací plochy konzervačním olejem.
- f Nasadit první svěrné pouzdro TLK 350 16x32 na hřídel  $\varnothing 16$  mm po  $\varnothing 19$  mm.
- g Nasadit řemenici a postupně do kříže utahovat pouzdro TLK 350 po utahovací moment 4,9 Nm.
- h Nasadit druhé svěrné pouzdro TLK 350 16x32 na hřídel  $\varnothing 16$  mm po  $\varnothing 19$  mm.
- i Nasadit řemenici a postupně do kříže utahovat pouzdro TLK 350 po utahovací moment 4,9 Nm.
- j Pomocí přípravků nasadit z obou stran ložiska SKF 7201 BEP.



Obr. 71 - Rozložená sestava prostřední hřídele

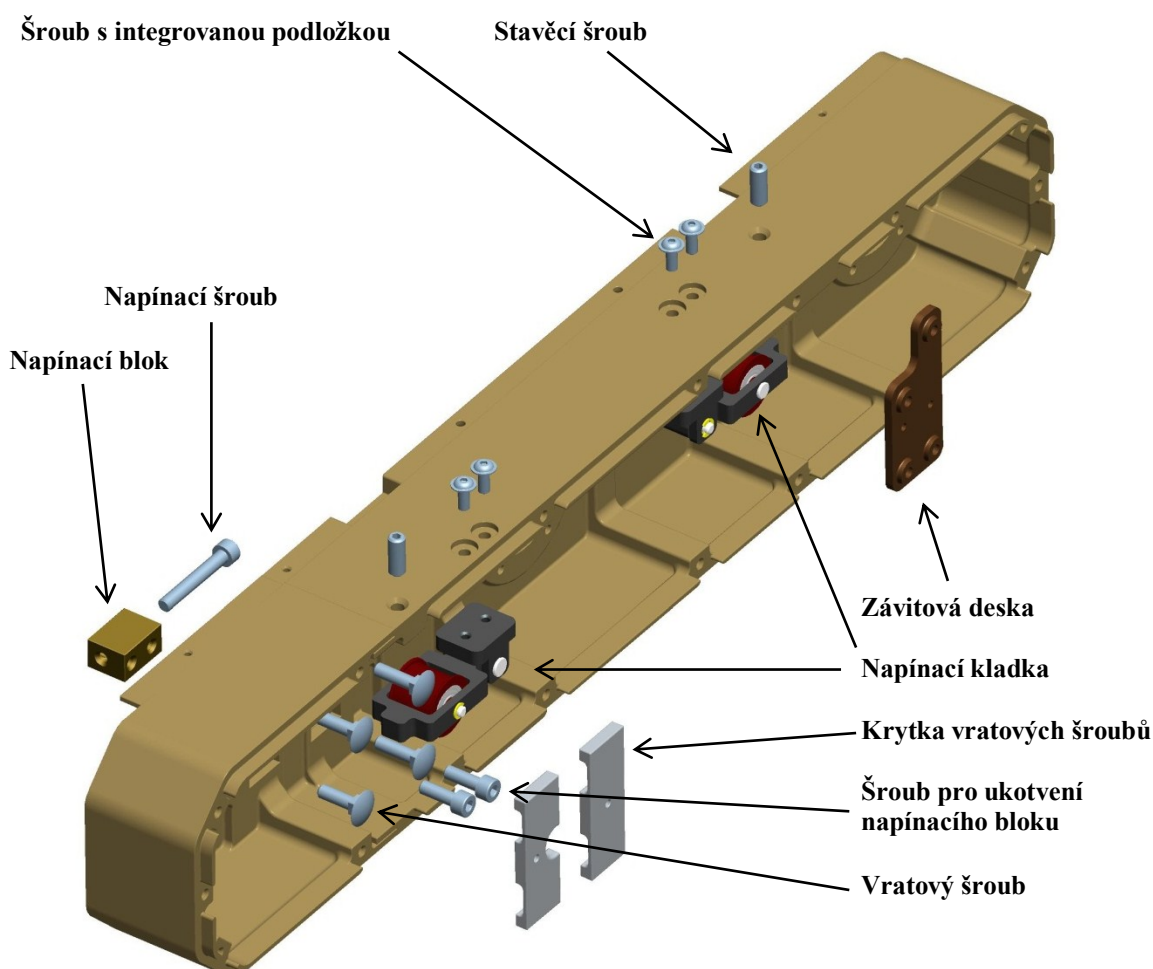
### 3 Montáž bloků

Postup montáže je u obou bloků obdobný, bude tedy popsán pouze jeden.

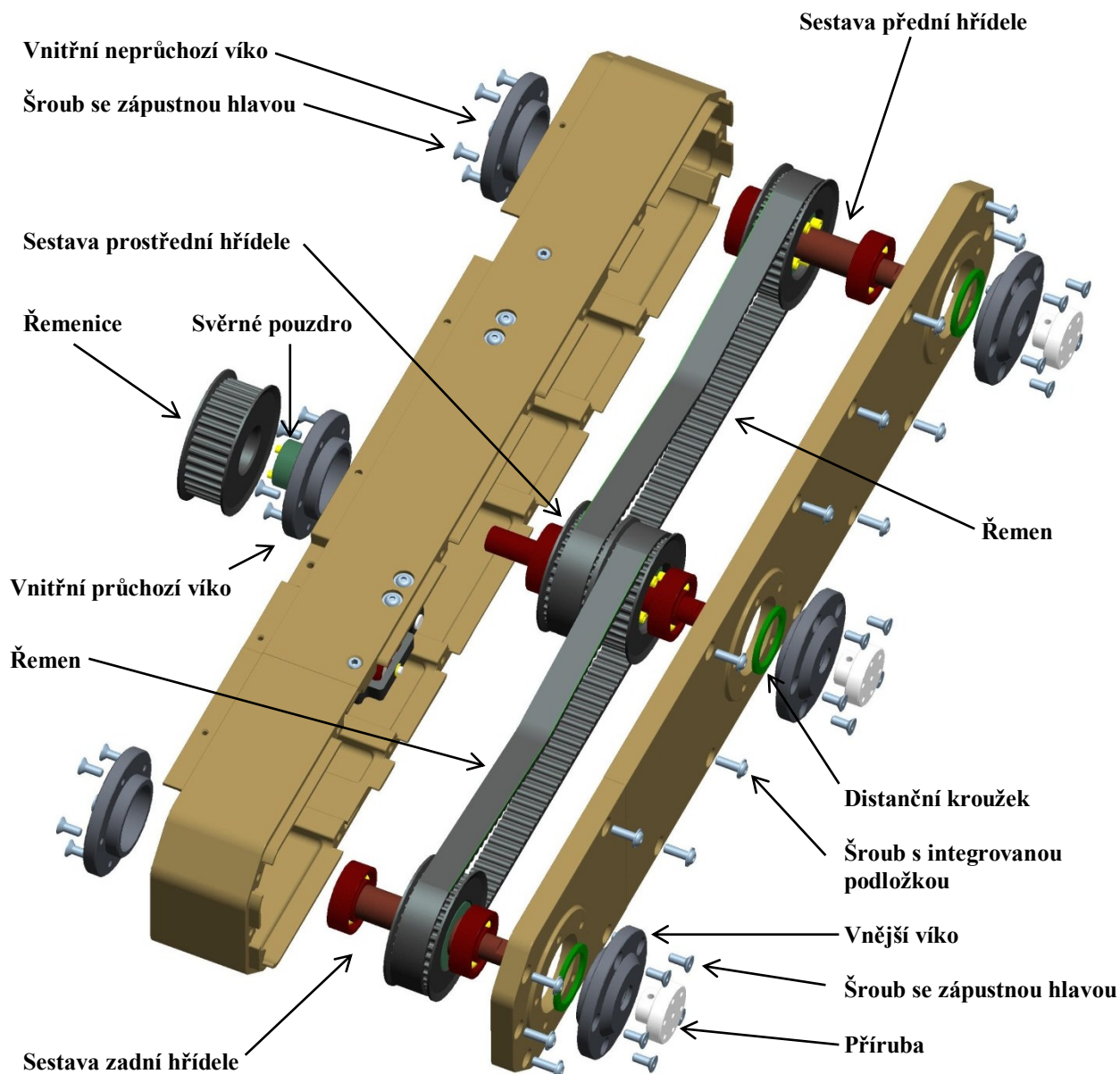
#### Postup montáže

- a Zbavit víka a dosedací plochy dílů nečistot.
- b Přišroubovat víka k vnitřní části bloku zápusťnými šrouby M4x12.
- c Přišroubovat napínací blok pro napnutí řemene pohonů šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x12 s použitím pružné podložky.
- d Přišroubovat napínací kladky šrouby s integrovanou podložkou M4x10 s použitím pružných podložek.
- e Nasadit závitovou desku do tvarových prvků vnitřního rámu a pomocí oboustranné 3M pásky přilepit desku k rámu.
- f Vložit Vratové šrouby M5x16 to tvarových drážek v bloku, přilepit krytku Loctitem 301 a zajistit šroubem s integrovanou podložkou M3x6.
- g Nasunout prostřední průchozí hřídel do víka.
- h Nasadit řemen a nasunout přední hřídel do víka.
- i Nasadit druhý řemen a nasunout zadní hřídel do víka.
- j Zkontrolovat, zdali řemeny dosedají do vybrání v kladce napínacího mechanismu.

- k** Spojit šrouby s integrovanou podložkou M4x14 vnější část bloku s vnitřní.
- l** Umístit do drážek ve vnějších víkách plstěné těsnící kroužky.
- m** Umístit do vnějších vík distanční kroužky pro vymezování vůlí ložisek.
- n** Nasunout na hřídel prostřední vnější víko a zajistit zápusnými šrouby M4x12.
- o** Dopnout přední hřídel do požadované polohy s použitím přípravku, nasadit a zajistit zápusnými šrouby M4x12 víko.
- p** Dopnout zadní hřídel do požadované polohy s použitím přípravku, nasadit a zajistit zápusnými šrouby M4x12 víko.
- q** Zašroubovat stavěcí šrouby M6x12 do děr napínacích kladek.
- r** Umístit na venkovní části hřídelů příruby pro uchycení kol a zajistit červíky M3x6.
- s** Nasadit svěrné pouzdro TLK 350 12x22 na hřídel Ø12 mm do vzdálenosti 14,5 mm od okraje hřídele.
- t** Nasadit řemenici ve vzdálenosti 4 mm od víka a postupně do kříže utahovat pouzdro TLK 350 po utahovací moment 1,2 Nm.
- u** Zkontrolovat utažení všech šroubů.



Obr. 72 - Rozložená sestava prvků pravého bloku podvozku



Obr. 73 - Rozložená sestava prvků řemenového pohonu pravého bloku podvozku

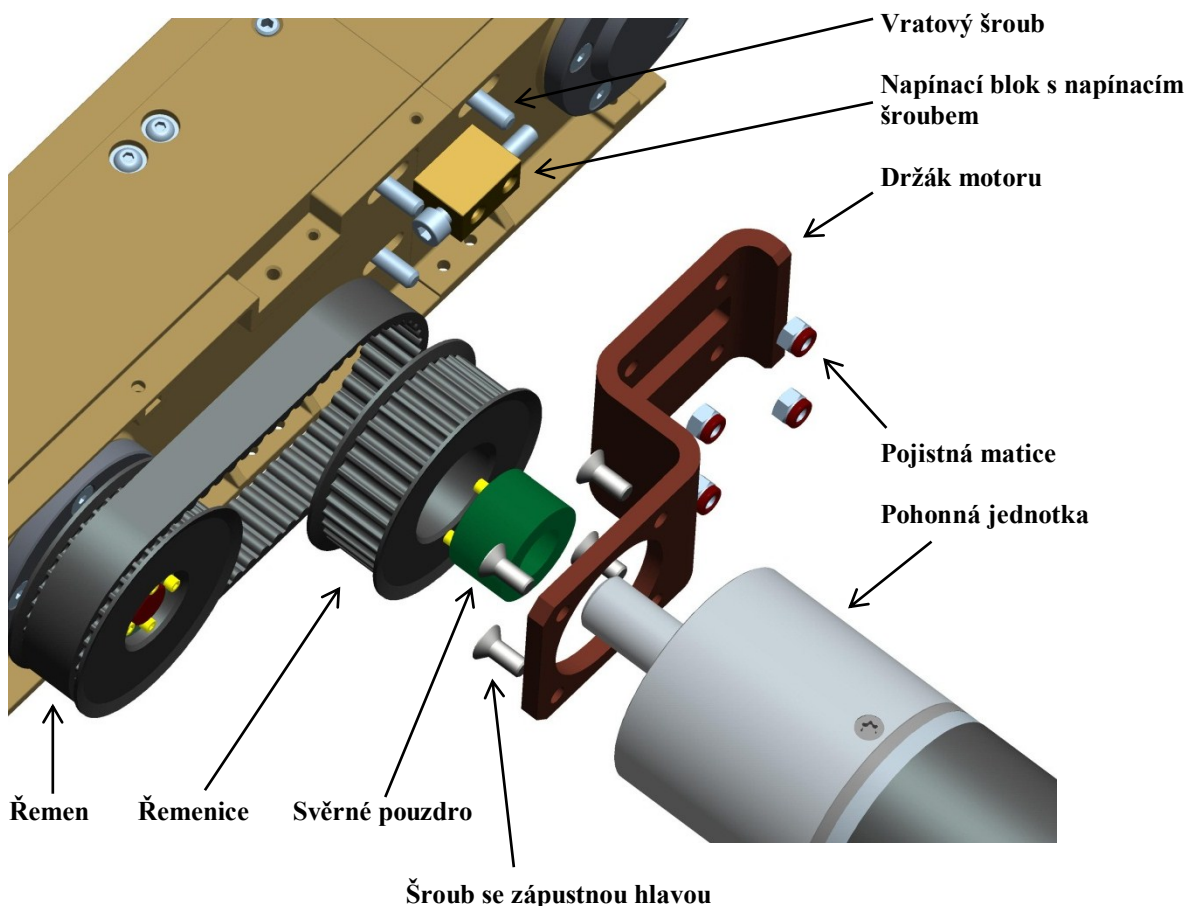
#### 4 Montáž komponentů na pohonné jednotky

Pohonné jednotky obecně byly dodány jako smontované celky (motor, převodovka, brzda, enkodér). Montáž obou celků je opět obdobná.

##### Postup montáže

- a Zbavení hřídele převodovky těsného pera.
- b Nasadit držák motoru a utáhnout šrouby se zápusťnou hlavou M5x12.
- c Nasadit svěrné pouzdro TLK 350 15x28 na hřídel převodovky.

- d** Nasadit řemenici a postupně do kříže utahovat pouzdro TLK 350 po utahovací moment 2,1 Nm ve vzdálenosti 5 mm od konce hřídele převodovky.
- e** Vložit řemen mezi řemenici převodovky a vstupním řemenem převodu.
- f** Nasadit celek na vratové šrouby M5x16 a dotáhnout pojistnými maticemi tak, aby bylo možné dopnout napínacím šroubem řemen pohonu.
- g** Dopnout řemen napínacím šroubem s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x35.
- h** Dotáhnout pojistné matice M5.



Obr. 74 - Rozložená sestava montáže jednotky pravého bloku podvozku

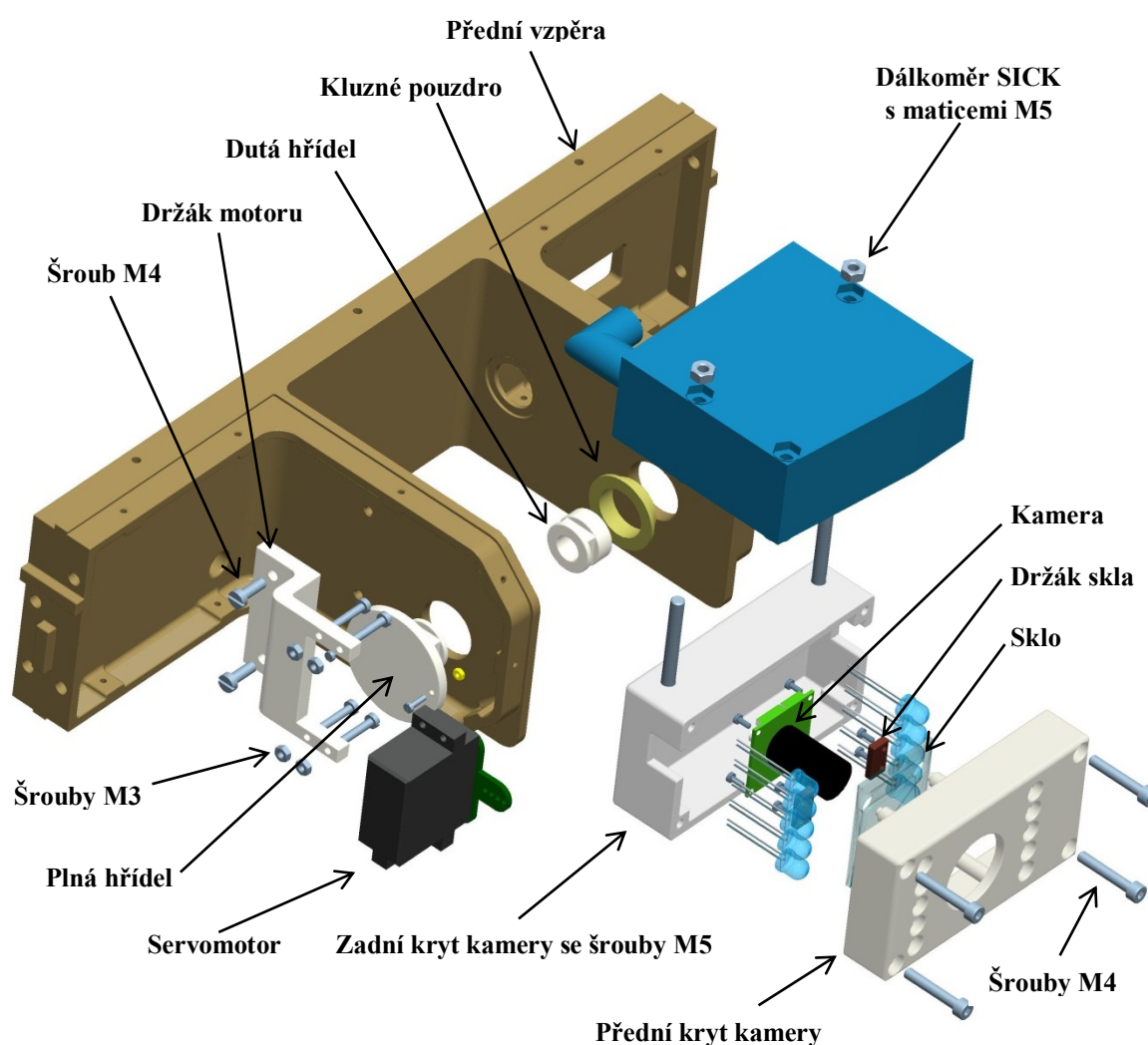
## 5 Montáž přední kamery

## Postup montáže

- a** Vložit kluzné pouzdra GMF-2023-07 do otvorů přední vzpěry ze strany umístění kamerového subsystému.
- b** Nasadit dálkoměr SICK s maticemi M5 na šrouby M5x45 umístěné v zadním krytu kamery a utáhnout.
- c** Vložit sklo mezi sloupečky předního krytu kamery a zajistit držáky šrouby M2x6.
- d** Vložit LED diody do připravených děr předního krytu a zapájet.
- e** Přišroubovat kameru Mitron do předního krytu šrouby M2x6.



- f** Přišroubovat servomotor k plné hřídeli kamerového subsystému šrouby M2x8 a zajistit maticí M2.
- g** Přišroubovat servomotor s hřídelí k držáku servomotoru šrouby M3x16 a zajistit maticí M3 a následně tento celek přišroubovat šrouby M4x10 do přední vzpěry rámu podvozku.
- h** Vložit dutou hřídel kamerového subsystému do druhého otvoru s kluzným pouzdem.
- i** Nasadit přední kryt s již smontovanými prvky do drážek v hřídelích a kabely protáhnout dutou hřídelí do prostoru pro elektroniku.
- j** Nasadit zadní kryt s dálkoměrem do drážek v hřídelích a přitáhnout k přednímu krytu šrouby s válcovou hlavou M4x25.

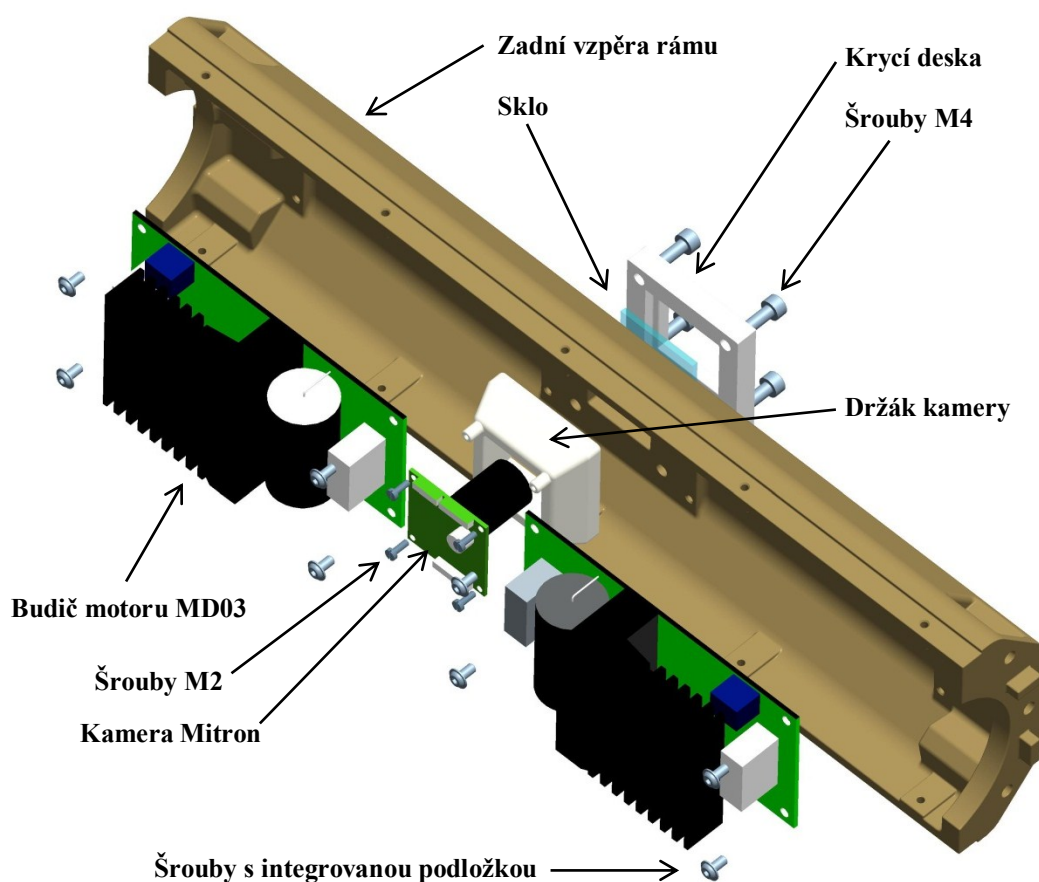


Obr. 75 - Rozložená sestava předního kamerového subsystému s komponenty

## 6 Montáž zadní kamery a budičů motorů MD03

### Postup montáže

- Kameru Mitron přišroubovat šrouby M2x4 k jejímu držáku.
- Vložit sklo do krycí desky.
- Příšroubovat držák kamery a krycí desku k zadní vzpěře rámu šrouby M4x8.
- Budiče motorů podložit gumovým těsněním a přišroubovat do připravených děr zadní vzpěry šrouby s integrovanou podložkou M3x6.



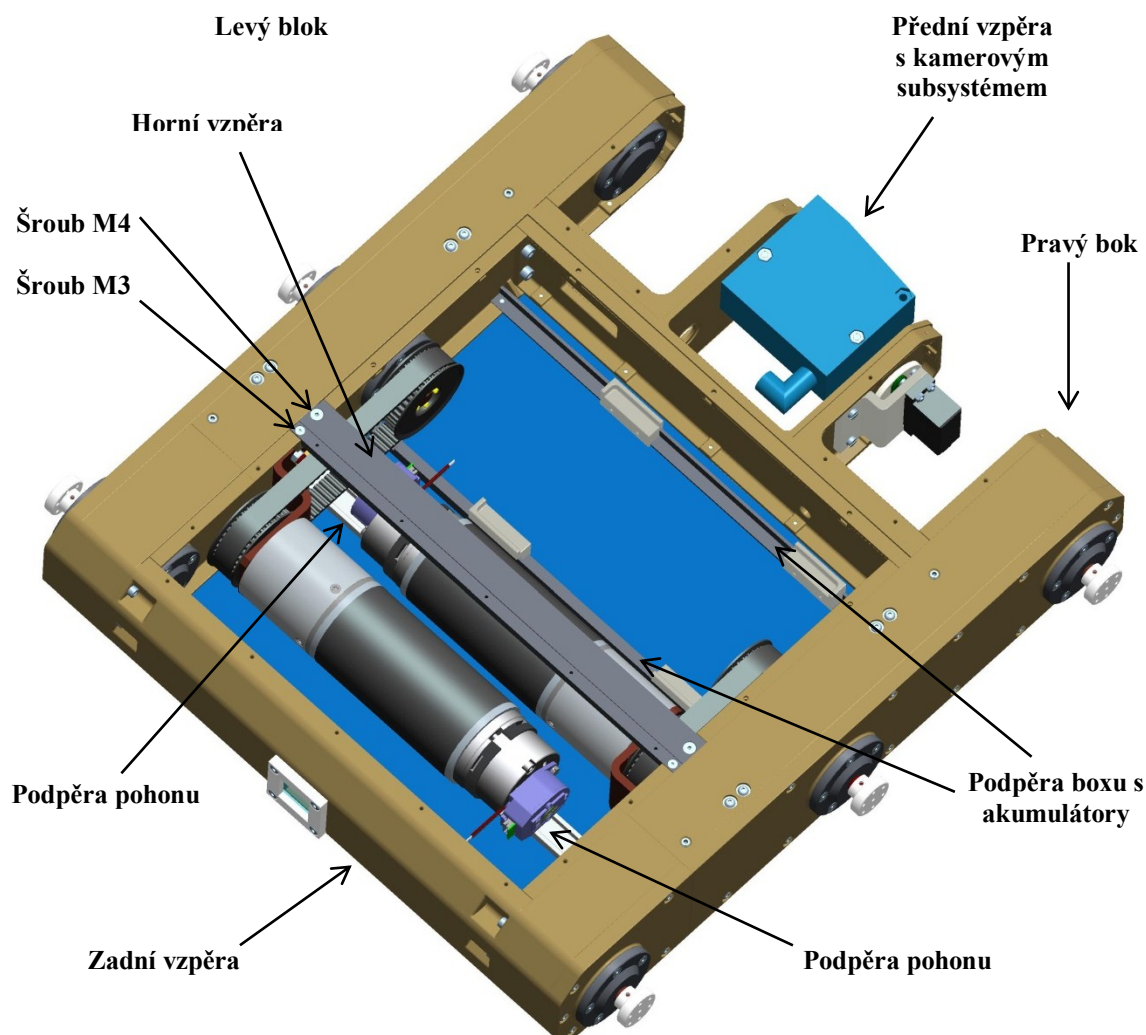
Obr. 76 - Rozložená sestava zadní kamery s komponenty

## 7 Montáž rámu

### Postup montáže

- Vložit podpěry pohonů mezi bloky.
- Vložit přední a zadní vzpěru mezi bloky motoru do tvarových drážek.
- Přední vzpěru přitáhnout šrouby s válcovou hlavou M5x12 k blokům.
- Zadní vzpěru přitáhnout šrouby s válcovou hlavou M4x14 k blokům.
- Podpěry pohonů nechat volně.

- f** Přišroubovat horní vzpěru k blokům šrouby se zápustnou hlavou M3x14 a M4x14.
- g** Přišroubovat podpěry boxu s akumulátory šrouby s válcovou hlavou M3x12 k L profilům a vložit mezi bloky. L profily s podpěrami nechat volně.
- h** Přišroubovat spodní kryt k rámu šrouby M3x6.
- i** Přišroubovat podpěry pohonů k rámu.
- j** Přišroubovat podpěry boxu s akumulátory k rámu šrouby s válcovou hlavou M3x8 a zajistit pojistnou maticí M3.



Obr. 77 - Schéma smontovaného rámu s nosnými komponenty

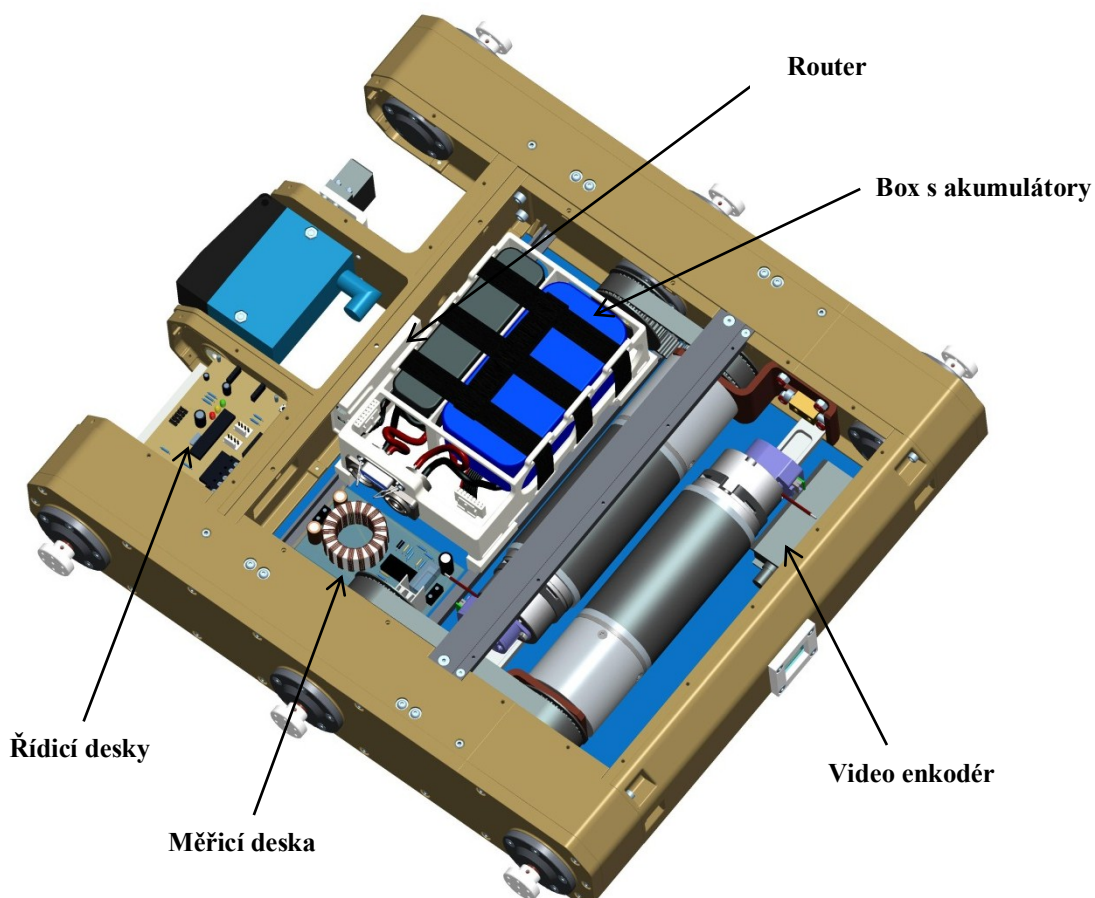


## 8 Montáž prvků elektroniky

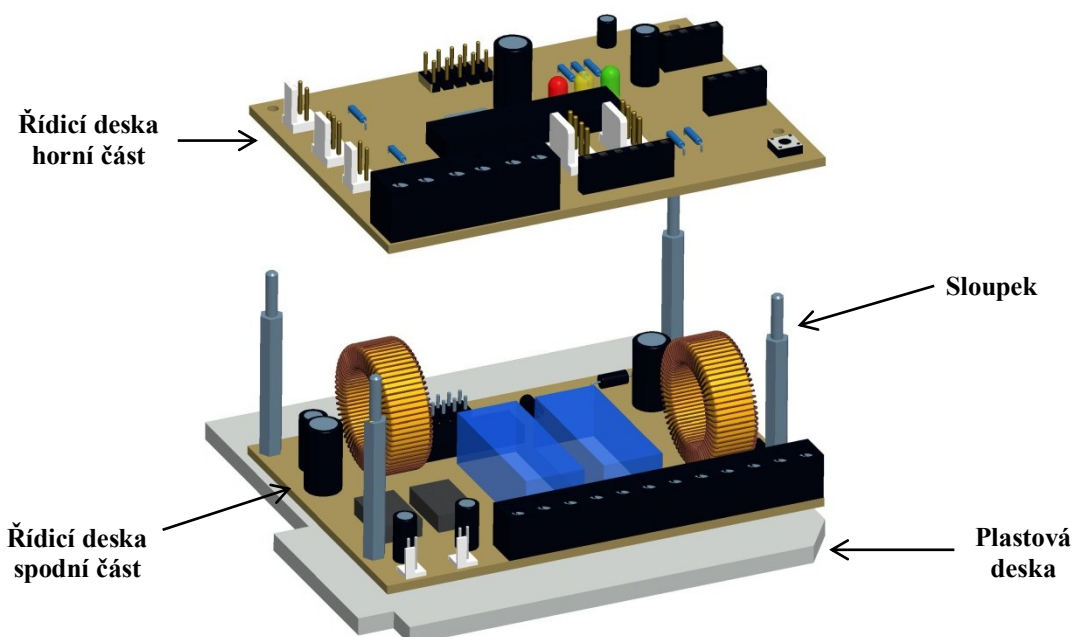
Prvky elektroniky byly k rámu připevněny pomocí zaklápěcího samolepícího unizipu, který se v praxi ukázal jako optimální řešení.

### Postup montáže

- a Upevnit video enkodér do zadní části podvozku ke spodní části krytování pomocí samolepícího zaklápěcího unizipu.
- b Upevnit Switch pod box s akumulátory ke spodní části krytování pomocí samolepícího zaklápěcího unizipu.
- c Upevnit router k zadní části spodní vzpěry pomocí oboustranné 3D pásky.
- d Upevnit box s akumulátory na podpěry pomocí samolepícího zaklápěcího unizipu.
- e Upevnit spodní část řídicí desky do přední části rámu podvozku pomocí samolepícího zaklápěcího unizipu.
- f Umístit na připravené sloupky horní část řídicí desky.
- g Upevnit měřicí desku před box s akumulátory ke spodní části krytování pomocí samolepícího zaklápěcího unizipu.



Obr. 78 - Schéma smontovaného podvozku s prvky elektroniky

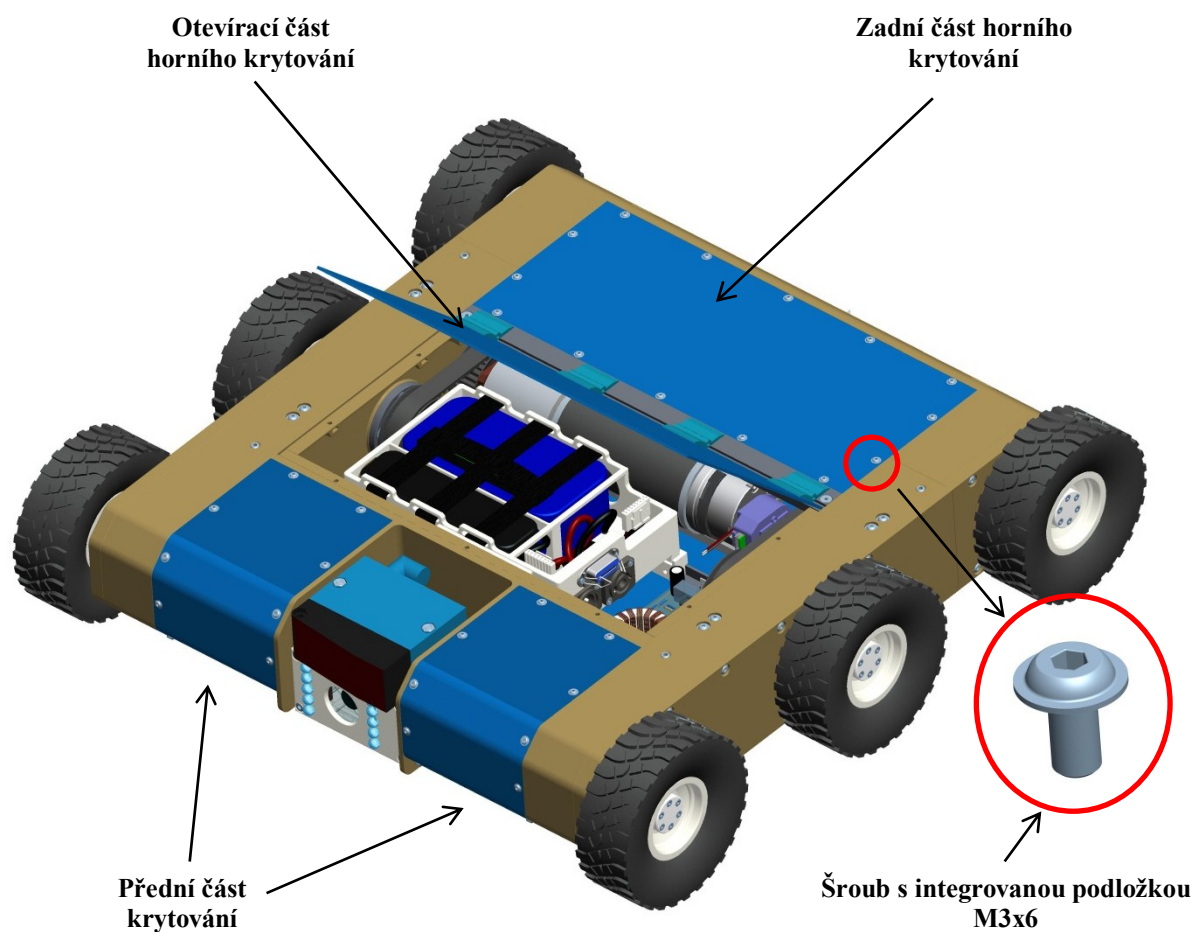


Obr. 79 - Detail řídicích desek

## 9 Dokončení montáže podvozku

### Postup montáže

- a Umístit přední části krytování a zajistit šrouby s integrovanou podložkou M3x6.
- b Umístit přední část zadního krytu a zajistit šrouby s integrovanou podložkou M3x6.
- c Přišroubovat plastové závěsy k hornímu otevíracímu krytu a přilepit k horní hliníkové vzpěře.
- d Pomocí disků a příruby přišroubovat kola šrouby s válcovou hlavou M3x14 k unášecům kol.
- e Zkontrolovat dotažení všech šroubů.



Obr. 80 - Podvozek mobilního robotu v konečném stavu

## **Příloha J    Popis řídicího systému**

### **Stanoviště operátora**

Z hlediska úspor nákladů byl návrh realizován pro stávající stanoviště operátora. V této příloze je popsán řídicí systém, jehož vývojem se zabývali pan Ing. Jan Babjak a Ing. Lukáš Tomek, a řídicí aplikace, kterou vyvinul Ing. Tomáš Kot, Ph. D.

### **Řídicí systém**

Základem je procesor ATMEL ATmega8, který komunikuje s okolím prostřednictvím sériové linky UART, po které přijímá příkazy. Konstrukce je připravena tak, aby bylo možné modulárně napojit na tuto linku převodník RS232 pro přímé propojení s COM portem na PC a také modul s LAN serverem pro možnost ovládání přes Wi-fi a LAN.



*Obr. 81 - Stanoviště operátora*

### **Procesor plní následující funkce**

- pomocí relátek ovládá napájení kamer, videoseveru, a brzd motorů (podle potřeby),
- pomocí PWM výstupu ovládá servo a jas LED diod k osvětlení přední kamery,
- pomocí přídavného integrovaného obvodu 4051 přepíná signály z kamer do jednoho výstupu, který následně zpracovává Videosever,
- měří analogové napětí na výstupu z dálkoměru, které zpracuje a pošle do PC,
- přes sběrnici I2C řídí můstky MD03

Elektronika obsahuje zdroj napětí pro procesor (5V) a 12V pro napájení routeru, kdy se obě napětí vyrábí z hlavní baterie.

## **Řídicí aplikace**

### **Popis aplikace**

Řídicí aplikace byla vytvořena pomocí Microsoft Visual C# 2010. Pro příjem a vykreslení obrazu z kamery je využit ActiveX ovládací prvek AxAxisMediaControl od společnosti AXIS. Operátor řídí robot pomocí herního ovladače (gamepad), který umožňuje ovládání většiny funkcí robotu. Některé příkazy je možno zadávat alternativně i přímo pomocí příslušných ovládacích prvků na okně aplikace.

Vnitřní komunikace SW s řídicím systémem nižší úrovně, umístěným na robotu, probíhá pomocí sériové linky (RS232) a využívá vlastní textový komunikační protokol. Komunikace je obousměrná, do robotu jsou posílány řídicí příkazy, a zpět jsou zasílány informace o proudovém odběru motorů, změřené vzdálenosti laserového snímače a stavu akumulátorů.

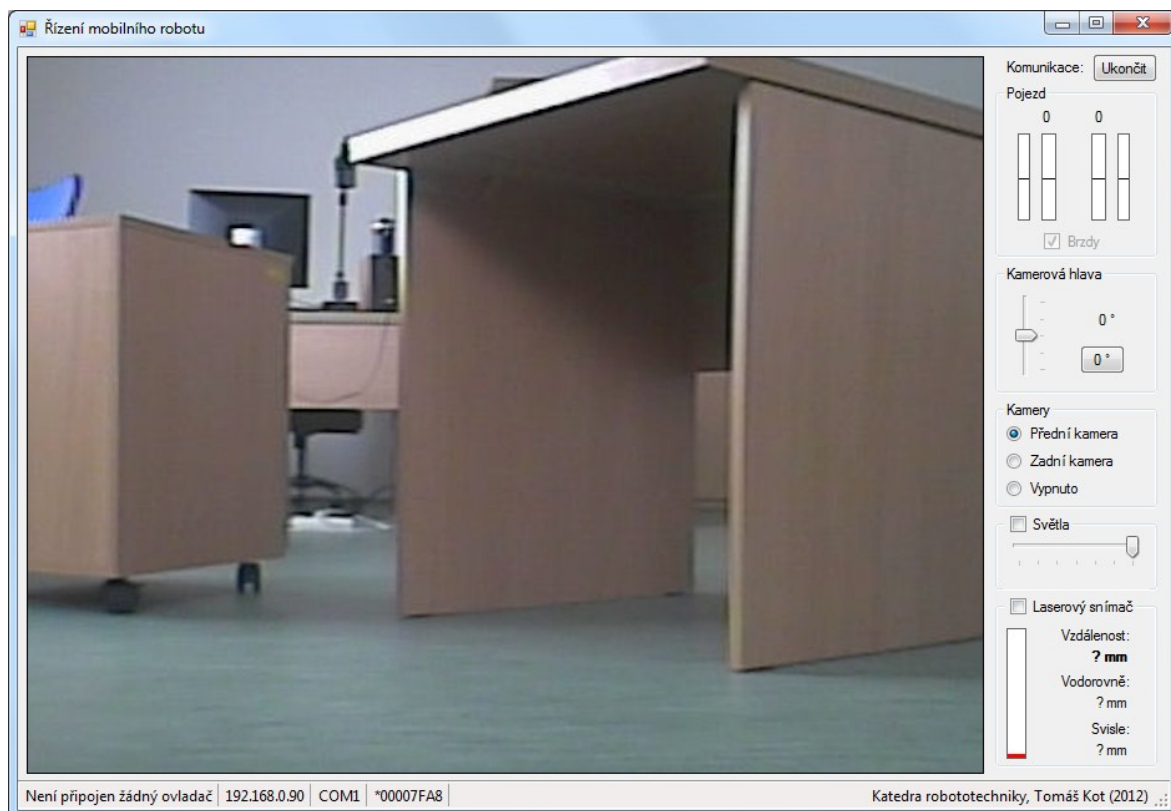
### **Popis okna**

Největší část plochy okna je věnována vykreslení obrazu z aktuálně zvolené kamery (přední, zadní, případně žádná).

Ve spodní části ve stavovém řádku jsou zobrazeny pomocné informace – jméno připojeného herního ovladače, IP adresa kamerového serveru, jméno použité sériové linky a výpis posledního zaslaného řídicího příkazu.

### **Pravý sloupec obsahuje shora**

- tlačítko pro zastavení a spuštění komunikace (komunikace startuje automaticky, tlačítko za normálního stavu není nutno používat),
- grafické vykreslení aktuálního stavu pojezdu. Vnitřní dvojice sloupcových diagramů znázorňuje požadovanou rychlost a směr jízdy levého a pravého motoru, vnější dvojice znázorňuje změřené proudové odběry. Dole je uveden stav automaticky ovládaných brzd,
- ovládání úhlu natočení kamerové hlavy v přední části robotu. Je možno zadat libovolný úhel v platném rozsahu nebo stiskem tlačítka rychle vrátit hlavu do vodorovné pozice,
- volba aktivní kamery - přední, zadní, žádná.
- Ovládání světel - ovládací prvek pro zapnutí/vypnutí a volba intenzity v 7 úrovních.
- Laserový snímač vzdálenosti - ovládací prvek pro zapnutí/vypnutí a znázornění změřené vzdálenosti (graficky a číselně včetně uvažování aktuálního úhlu natočení kamerové hlavy - výpočet odpovídající vodorovné a svislé složky naměřené vzdálenosti).



Obr. 82 - Okno

### Ovládání pomocí Gamepadu

- pro ovládání všech funkcí je preferován Gamepad, kompatibilní se standardem Xinput (neboli Xbox 360),
- levá analogová páčka nahoru/dolů - rychlost jízdy dopředu/dozadu,
- pravá analogová páčka doleva/doprava - míra zatáčení doleva/doprava,
- zadní dvojice analogových tlačítek (LT, RT) - volba rychlosti a směru naklápění kamerové hlavy,
- zadní levé tlačítko (LB) - zapnutí/vypnutí světel,
- zadní pravé tlačítko (RB) - rychlý návrat kamerové hlavy do vodorovné polohy,
- horní tlačítko B - zapnutí/vypnutí laserového dálkoměru,
- horní tlačítko Y - aktivace přední kamery (nutno sekundu držet),
- horní tlačítko A - aktivace zadní kamery (nutno sekundu držet),
- horní tlačítko X - vypnutí kamer (nutno sekundu držet),
- 8-směrový ovladač nahoru - zvýšení intenzity světel o jednu úroveň ze sedmi,
- 8-směrový ovladač dolů - snížení intenzity světel o jednu úroveň ze sedmi,





*Obr. 83 - Popis Gamepadu F710*

Tato problematika nebyla součástí práce, proto jsou v krátkosti uvedeny výsledky v této příloze, které prezentují úplnost návrhu a realizace podvozku mobilního robotu.

## **Poděkování**

Na závěr diplomové práce bych chtěl poděkovat mému vedoucímu panu Ing. Václavu Krysovi Ph.D. za užitečné rady a odborné vedení při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi při tvorbě této práce věnovali svůj čas a ochotně se mnou spolupracovali. Zvláště pak Lucii Halfarové za pomoc při montáži podvozku a jeho fotodokumentaci a kolegovi Bc. Janu Šeděnkovi za pomoc s návrhem přední a zadní kamery.